

Evaluación de un vermicompost y lixiviados en *Solidago x hybrida*, y mineralización de C orgánico en incubaciones aerobias

Evaluation of a vermicompost and leachates on *Solidago x hybrida* and organic carbon mineralization under aerobic incubations

Ramírez Gerardo MG¹, MA Chávez-García², J Mejía-Carranza²

Resumen. En la región florícola de Tenancingo en el Estado de México, México, la aplicación de materia orgánica estabilizada como el vermicompost y lixiviados contribuye a mejorar la calidad del suelo y la nutrición de la planta. Sin embargo, es importante conocer la composición química del vermicompost y el proceso de mineralización. Esto es debido a que de ello dependerá la cantidad y velocidad a la cual se liberen los nutrientes, y queden disponibles para el cultivo. El objetivo del estudio fue evaluar la aplicación de vermicompost y lixiviados sobre varias variables cuantitativas de *Solidago x hybrida*, y evaluar la mineralización de carbono orgánico en incubaciones aerobias. En invernadero se aplicó vermicompost (74 y 36 g/kg suelo), lixiviados (10 y 5 L/kg suelo) y 0,33 g/kg de suelo de fertilizante químico Ca(NO₃)₂ y se incluyó suelo no tratado como tratamiento testigo. En laboratorio, se hicieron mezclas de 100 g de suelo con vermicompost y lixiviados, se incubó durante 9 semanas y se obtuvo el carbono orgánico potencialmente mineralizable (*C_{org} PM*) y la tasa de mineralización (*k*) mediante el ajuste a un modelo exponencial. El experimento en invernadero indicó que no hubo diferencias estadísticas al aplicar vermicompost y lixiviados en varias variables cuantitativas de *Solidago* (número de tallos por planta, diámetro de la panoja, peso fresco, altura de la planta y diámetro del tallo) respecto del control ($p > 0,05$). El efecto entre dosis aplicadas fue evidente solo para variables como peso fresco, longitud de la panoja y diámetro del tallo respecto del control. En los suelos incubados el valor de *k* osciló entre 0,209-0,325 mg C/kg suelo/semana. Se observó que únicamente con la aplicación de lixiviados en dosis altas se presentaron dos pools de materia orgánica, uno soluble lábil (102,9 mg/kg suelo) y otro hidrolizable (819 mg/kg suelo). La fracción soluble lábil favoreció la disponibilidad de nutrientes inmediatamente después de

Abstract. In the floriculture region of Tenancingo in the State of Mexico, the application of stabilized organic matter, such as vermicompost and leachates, contributes to improve the quality of the soil and plant nutrition. However, it is important to know the chemical composition of a vermicompost and the mineralization process. This is because the amount and speed of nutrient release which will be available to the crop will depend on that knowledge. The objective of the study was to evaluate the effect of the application of a vermicompost and leachates on various quantitative variables of *Solidago x hybrid*, and the mineralization of organic carbon under aerobic incubations. Vermicompost (74 and 36 g/kg soil), leachates (5 and 10 L/kg soil), 0.33 g/kg soil of chemical fertilizer Ca (NO₃)₂, and not treated soil (control) were applied under greenhouse conditions to evaluate their effects on plant growth variables. Mixtures of 100 g of soil with vermicompost and leachates were made in the laboratory which were incubated during 9 weeks to obtain the potentially mineralizable organic carbon (*C_{org} PM*) and the rate of mineralization (*k*) after adjusting an exponential model. In the greenhouse experiment there were no statistical differences after applying vermicompost and leachates on the quantitative variables (number of stems per plant, diameter of the panicle, fresh weight, plant length and stem diameter) with respect to the control ($p > 0.05$). The effect among the applied doses was evident only for variables such as fresh weight, panicle length and stem diameter with respect to the control. In incubated soils, *k* values ranged between 0.209-0.325 C mg/kg soil/week. Only with the application of leachates in high doses two pools of organic matter were shown: one soluble labile (102.9 mg/kg soil) and the other hydrolysable (819 mg/kg soil). The soluble, labile fraction favored

¹Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero. Carretera federal Toluca-Ixtapan de la sal. La Finca Villa Guerrero, Estado de México, Méx. C.P. 51763.

² Centro universitario UAEM Tenancingo. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), Carretera Tenancingo-Villa Guerrero km 1.5, Edo de México, México.

Address Correspondence to: Marithza Guadalupe Ramírez Gerardo, e-mail: marithza@gmail.com marithza@yahoo.com

Recibido / Received 29.I.2014. Aceptado / Accepted 13.X.2014.

su aplicación al suelo; en cambio, cuando se aplicó vermicompost se observó un solo pool de C orgánico hidrolizable (987-1074 mg/kg suelo), lo que se asoció a una liberación de materia orgánica durante el desarrollo del cultivo y a una posible estimulación de la actividad microbiana. Los valores altos de conductividad eléctrica en vermicompost y lixiviados (8,2-11,7 mS/m) sugieren una aplicación moderada de ambos productos.

Palabras clave: Vermicompost; Mineralización de carbono orgánico; Materia orgánica lábil; *Solidago*.

INTRODUCCIÓN

La floricultura en México es una actividad que ha crecido en las últimas tres décadas. Gracias a las condiciones climáticas y la cercanía geográfica con Estados Unidos, segundo país consumidor de flores en el mundo, México tiene grandes oportunidades en dicha actividad (ASERCA, 2008).

A nivel nacional se comercializa el 80% de la producción de flores como rosa (*Rosa x hybrida*), liliis (*Lilium* spp.), crisantemo (*Chrysanthemum* spp.) y gladiola (*Gladiolus* spp.), mientras que el comercio exterior se centra en *Gladiolus* spp., stative (*Limonium sinuatum* [L.] Mill.), *Chrysanthemum* spp. y clavel (*Dianthus caryophyllus* L.). En todo el país son 16 los estados que tienen mayor producción florícola, destacando el Estado de México con siete de sus municipios (ASERCA, 2008).

La demanda en el mercado ha traído beneficios económicos a las zonas florícolas. Sin embargo, para cubrir los estándares comerciales nacionales e internacionales se utilizan en exceso los fertilizantes y plaguicidas (Volke y Velasco, 2002). Esto contribuye al deterioro de la calidad del suelo, ya que dichos excesos pueden causar toxicidad a la biomasa microbiana reduciendo su población, permanecer en el suelo formando complejos de adsorción físicos o químicos, así como favorecer el desarrollo de resistencia de plagas (Durand y Barceló, 1989; Silva y Correa, 2009).

Para reducir este problema, en la zona florícola del estado de México, se ha comenzado a evaluar el uso de productos orgánicos como compost y vermicompost. Estos productos se obtienen a partir de un proceso fermentativo aerobio al mezclar restos de cultivos y estiércoles, los cuales son degradados por microorganismos y lombrices del género *Eisenia* sp. en el caso del vermicompost (González, 2004; Milpa-Mejía et al., 2012).

El vermicompost es un producto orgánico estabilizado (Mahmoud y Ibrahim, 2012) y, al igual que los lixiviados generados en el proceso, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo cuando se aplica al mismo (Domínguez et al., 2010). La materia orgánica del vermicompost aporta nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros) que la biomasa microbiana utiliza para su mantenimiento y

nutrient availability immediately after its application to the soil. However, a single pool of hydrolysable organic C (987-1074 mg/kg soil) was found when vermicompost was applied. It was associated with a release of organic matter during crop development, and to a possible stimulation of microbial activity. High values of electrical conductivity in vermicompost and leachates (8.2-11.7 mS/m) suggest a moderate application of both products.

Keywords: Vermicompost; Organic carbon mineralization; Labile organic matter; *Solidago*.

reproducción. El incremento de la biomasa microbiana es importante porque favorece la mineralización de la materia orgánica, liberando nutrientes al suelo disponibles para el cultivo (Ingham, 2005; Pedra et al., 2007; O'Rya y Riffo, 2007).

Existen estudios que han evaluado la respuesta de cultivos florícolas a la aplicación de compost y vermicompost al suelo a cielo abierto en campo y en invernadero (Wilson y Carlile, 1989; Chan y Griffiths, 1998; Atiyeh et al., 2000). Dichos estudios, por ejemplo, han logrado demostrar una mejora en la producción y calidad de las plantas de geranio (*Pelargonium* spp.) (Chand et al., 2007). Al combinar la aplicación de vermicompost con fertilizantes químicos también se ha logrado incrementar el número de flores en *Petunia* sp (Arcanon et al., 2008).

La velocidad a la que se liberan los nutrientes de un producto orgánico depende de las condiciones edáficas y de la calidad de la materia orgánica (Saviozzi et al., 1993). En la literatura es frecuente encontrar que la materia orgánica es compartimentalizada en una fracción soluble lábil, una fracción hidrolizable y una fracción recalcitrante, atendiendo a la facilidad con que es degradada por los microorganismos del suelo (Ramírez et al., 2011). Estos compartimentos de materia orgánica tienen distintas dinámicas de mineralización. Diversos estudios han utilizado modelos matemáticos que permiten observar que la mineralización de la materia orgánica puede presentarse por compartimentos o fracciones ("pools"). Esto indica que la materia orgánica tiene fracciones que mineralizan a velocidades distintas en diferentes productos orgánicos, incluidos el compost y vermicompost (Blair et al., 1995; Bernal et al., 1998).

Cuando se aplica un producto orgánico al suelo, la mineralización de la materia orgánica soluble lábil ocasiona una liberación inmediata de CO₂. Ésta se explica por el incremento de la actividad de la biomasa microbiana, que utiliza la materia orgánica como fuente de energía y nutrientes. Sin embargo, un exceso de materia orgánica soluble lábil es propicio a perderse por lixiviación con la aplicación de riegos (Van-Camp et al., 2004; Pedra et al., 2007). Dicha lixiviación también contiene carbono, nitrógeno, fósforo y potasio, que forman parte de moléculas de bajo peso molecular como aminoácidos, aminoazúcares, proteínas, ácidos volátiles y ácidos orgánicos

(Ramírez et al., 2011). Por lo tanto, es importante conocer las características del producto orgánico que se aplica al suelo, para poder hacer un mejor aprovechamiento de los nutrientes y evitar posibles riesgos de contaminación e inmovilización de nitrógeno. Esto podría suceder, por ejemplo, en el caso de utilizar materia orgánica no estabilizada (Busby et al., 2007; Isaza-Arias et al., 2009; Lu et al., 2012).

Existen varios métodos para medir la materia orgánica lábil y la hidrolizable; ambas fracciones representan la materia orgánica que los microorganismos pueden degradar. Los métodos incluyen la estimación del C orgánico hidrolizable, la determinación de C de la biomasa microbiana, y la respiración de la biomasa microbiana en suelos incubados bajo condiciones controladas (McLauchlan y Hobbie, 2004). Posiblemente, este último método es el más usado, y se ha utilizado para evaluar la mineralización de la materia orgánica de suelos y de suelos mezclados con algún producto orgánico (Zibiliske, 1994; Griffin et al., 2008).

La mineralización del C orgánico se puede evaluar mediante incubaciones en condiciones controladas, y se pueden ajustar modelos matemáticos diversos (Saviozzi et al., 1993; Quemada y Cabrera, 1995). Mediante el ajuste matemático, se pretende entender la mineralización de Carbono como resultado de la actividad microbiana total del suelo, cuantificando la cantidad de CO₂ liberado. El modelo exponencial propuesto por Stanford y Smith (1972) para explicar la mineralización del N orgánico se puede extender al C orgánico del suelo. De esta manera, se entiende al C orgánico potencialmente mine-

ralizable (*C_{org PM}*) como la cantidad máxima de C orgánico del suelo susceptible de ser mineralizado, y *k* como la tasa de mineralización de C orgánico. Existen otros modelos que involucran varios pools de materia orgánica con diferente grado de mineralización, de manera que pueden explicar mejor la dinámica de mineralización y la posible disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

En la región de Tenancingo, se ha iniciado el uso del vermicompost. Como resultado, es necesario conocer su composición y calidad, con el fin de aprovechar los nutrientes y mejorar la calidad de los cultivos florícolas y del suelo.

Los objetivos de esta investigación fueron: (1) comparar el efecto de la aplicación de un vermicompost y de lixiviados sobre características de calidad de *Solidago x hybrida* en un estudio de invernadero, especie ornamental de la familia Asteraceae cultivada para flor de relleno en florería y decoración, y (2) analizar la dinámica de mineralización del C orgánico del suelo al aplicar vermicompost y lixiviados en condiciones controladas mediante una incubación aerobia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento en invernadero se llevó a cabo en la comunidad de Santa Ana Ixtlahuatzingo, municipio de Tenancingo, Estado de México (18° 58' 14" N, 99° 37' 25" O, 2160 msnm), en un suelo franco arenoso, de pH neutro y con un contenido de materia orgánica de 2,4 % (Tabla 1).

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo, vermicompost y lixiviado. Valores promedio ± desviación estándar.
Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil, vermicompost and leachate. Mean values ± standard deviation.

	Suelo	Vermicompost	Lixiviado
Materia seca %	nd	62,4 ± 0,8	nd
Material extraño e inerte %	nd	<1 y <0,5	nd
Textura franco-arenosa (arena, limo y arcilla) %	60-26-11	nd	nd
Densidad aparente g/cm ³	1,3 ± 0	0,7 ± 0,1	nd
pH (25 °C 1:5)	7,0 ± 0	6,0 ± 0,2	8,7 ± 0,2
CE (25 °C, 1:5) mS/m	0,402 ± 0	8,2 ± 0,6	11,7 ± 2,7
Materia orgánica % sms	2,4 ± 0	7,3 ± 0,8	13,2
C orgánico % sms	1,2 ± 0,2	4,1 ± 0,6	0,112 ± 0,0
N Khjeladh % sms	0,1 ± 0	0,4 ± 0,1	2,5 ± 0,3
C/N	12,0 ± 0,1	12,0 ± 1,2	0,045 ± 0,2
P (Bray y Kurtz) ppm	298 ± 0,4	344 ± 234,1	4.673 ± 259,8
K ppm	553 ± 0,2	234 ± 80,1	3.663 ± 402,3
Ca ppm	3305 ± 0,9	115 ± 133,1	2.396 ± 287,8
Mg ppm	nd	122 ± 6,3	1.971 ± 189,9
Na ppm	197 ± 0,2	65 ± 28,7	483 ± 99,0

n= 3, nd= no determinado, sms= sobre materia seca, CE= conductividad eléctrica.

Aplicación del vermicompost y lixiviados. El vermicompost utilizado se obtuvo de la mezcla de restos vegetales de *Rosa x hybrida*, *C. leucanthemum*, *Aster* spp y maleza de los cultivos, mezclados con estiércol de bovino, en una proporción 3:1 (v/v) de material vegetal y estiércol, respectivamente. Se aportaron 0,5 kg de lombrices de la especie *Eisenia* sp por cada 10 kg de restos vegetales. Se hicieron remociones periódicas y aplicaciones de riegos para el control de la humedad y temperatura. Después de 6 meses, se tomaron 3 muestras compuestas del vermicompost y del lixiviado; éste último representó la fracción líquida, rica en nutrientes solubles y microorganismos benéficos (Ingham, 2005). El lixiviado se recolectó en un depósito que permaneció cubierto ubicado en la parte más baja del terreno donde se ubicó la vermicomposta. Las muestras de vermicompost se secaron a 70 °C por 24 h, y se pasaron por tamiz de 2 mm para su análisis. El lixiviado se mantuvo a 0 °C hasta su análisis. Las propiedades físicas y químicas del vermicompost y los lixiviados se observan en la Tabla 1.

En vermicompost, el pH y la conductividad eléctrica (CE) se determinaron en extracto acuoso 1:5; la materia orgánica (MO) se obtuvo por el método de calcinación, y el C orgánico se calculó al dividir entre 1,724 (Huerta et al., 2010). El contenido de N orgánico se evaluó mediante el método Kjeldahl sobre materia seca. Nutrientes como K, Ca y Mg se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Erlenmeyer 2380) utilizando una solución extractora de acetato de amonio. El material mineral extraño e inerte en el vermicompost se determinó según normativa mexicana NMX-FF 109-SCFI-2007 (SAGARPA, 2007).

En las muestras de lixiviado, se determinó C orgánico total (Shidmazu, 550 A, Kyoto, Japan). Los análisis se realizaron de acuerdo a los procedimientos del Laboratorio de Fertilidad del Colegio de Postgraduados (Etchevers, 1992), y la materia orgánica se obtuvo multiplicando el porcentaje de C orgánico por 1,30. El resto de los elementos se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando una solución extractora de acetato de amonio (Perkin-Erlenmeyer 2380).

Plántulas de *Solidago x hybrida* de 10 cm de altura se establecieron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones entre experimentos independientes y en distintos espacios de un mismo invernadero, de junio a septiembre del 2012, de septiembre a noviembre del 2012 y de noviembre a enero en 2012-2013. La unidad experimental fue de 5,2 m², con una densidad de plantación de 9x10⁴ plantas/ha. Las dosis de vermicompost y lixiviados aplicadas fueron mayores a las que comúnmente aplica el floricultor. Esto se hizo con el fin de evidenciar el efecto de su aplicación sobre el cultivo y el suelo, ya que se esperó que el rendimiento y la calidad del cultivo fueran mayores a mayores que a menores cantidades de vermicompost. No se consideró la posibilidad de algún evento de interacción, inhibición o antagonismo que pudiera generarse con las distintas dosis. La dosis aplicada del fertilizante

mineral representó la cantidad mínima que aplica el floricultor (Tabla 2) porque se pretendió evidenciar si esta cantidad era suficiente para producir más que con las dosis altas de vermicompost.

Los tratamientos se aplicaron al inicio del cultivo y cuando las plantas presentaron el 80% de la floración, correspondiendo a (1) 21 junio y 21 de agosto; (2) 25 de septiembre y 28 de octubre; y (3) 25 de noviembre y 18 de diciembre del 2013 para los tres ensayos, respectivamente.

Al final de cada cultivo se midieron el número de tallos (NT) y diámetro de la panoja (DP) en 30 plantas en pie. Una vez cosechadas, se cuantificó el peso fresco (PF) y se midieron (1) la longitud de la planta (LP), (2) la longitud de la panoja (LPJ), y (3) el diámetro de tallos (DT).

Análisis estadístico (vermicompost y lixiviados). El efecto de los tratamientos se evaluó con un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el paquete estadístico SAS, versión 8 (SAS Institute Inc., Cary, USA) y la separación de medias se llevó a cabo calculando la diferencia significativa mínima (dsm).

Dinámica de mineralización del C orgánico del suelo. El experimento de incubaciones aerobias se llevó a cabo en 9 semanas. El suelo se obtuvo de los primeros 30 cm del tratamiento control del invernadero, se secó a temperatura ambiente y se tamizó usando una malla de 2 mm. La unidad experimental consistió de un frasco de vidrio hermético (1 L) que contenía la mezcla de 100 g de suelo seco más la dosis de vermicompost o lixiviado según el tratamiento, y un recipiente con 10 mL de 0,5 M de NaOH. Se aplicaron dos dosis de vermicompost y lixiviados, una alta y otra baja, en una relación 2:1 y un tratamiento químico mineral (Tabla 2).

Tabla 2. Dosis de vermicompost (materia fresca) y lixiviados aplicados según el tratamiento.

Table 2. Vermicompost (fresh matter) and leachate doses applied according to treatments.

Tratamiento	Invernadero	Incubaciones
	g/kg suelo	mg/kg suelo
Vermicompost dosis alta (VDA)	74	80
Vermicompost dosis baja (VDB)	36	40
Fertilizante químico mineral (Q)	0,33 Ca(NO ₃) ₂	----
	mL/kg suelo	mL/kg suelo
Lixiviado dosis alta (LDA)	10	10
Lixiviado dosis baja (LDB)	5	5
Suelo Testigo o control (T)	sin aplicación	

En base a los resultados obtenidos del análisis de suelo, se consideró una densidad del suelo de $1,3 \text{ g/cm}^3$ (que corresponde a un suelo con un tipo de textura franca) y una profundidad de 0,2 m. El suelo se mantuvo a 30°C y 55% espacio poroso lleno de agua. El CO_2 liberado se evaluó diariamente durante la primera semana, y luego cada tres días hasta finalizar el experimento.

Para estimar el C orgánico potencialmente mineralizable (*Corg PM*) y el valor de la constante de mineralización *k*, el C orgánico mineralizado acumulado en cada tratamiento se ajustó a diversos modelos matemáticos, con uno y dos pools de materia orgánica hidrolizable (Saviozzi et al., 1993).

Para conocer la cantidad de *Corg* mineralizado respecto del aplicado en cada tratamiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$Corg M / Corg A_i$$

donde *Corg M* es el C orgánico mineralizado y *Corg A_i* representa el C orgánico aplicado en cada tratamiento.

Para conocer el porcentaje de *Corg* mineralizado con respecto al suelo control, se utilizó la siguiente fórmula:

$$(Corg M - Corg T) / Corg T$$

donde *Corg M* es el C orgánico mineralizado en cada tratamiento y *Corg T* es el C orgánico mineralizado en el suelo control.

Análisis estadístico (dinámica de mineralización del C). El efecto de los tratamientos [ue consistió en la aplicación de vermicompost en dosis alta (VDA) o baja (VDB); fertilizante químico mineral (Q); aplicación de Lixiviado en dosis alta (LDA) o baja (LDB), sobre *Corg M*, *Corg M/Corg A_i* y $(Corg M - Corg T) / Corg T$] se evaluó mediante un ANOVA y para la separación de medias se calculó la diferencia mínima significativa (es decir, LSD) utilizando el paquete estadístico SAS, versión 8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas y químicas del vermicompost y lixiviado. Los valores obtenidos en la caracterización química y física del vermicompost y lixiviados se encuentran dentro de lo reportado por otros autores (Chamani et al., 2008; Rodríguez et al., 2009; Preciado et al., 2011). Por el contenido de material mineral extraño e inerte <1 y $<0,5\%$, respectivamente, el vermicompost se consideró de calidad EXTRA; y por el contenido de materia orgánica $>10\%$ se categorizó en calidad de SEGUNDA, según Norma Oficial Mexicana, NMX-FF-109-SCFI-2007 (SAGARPA, 2007).

El vermicompost presentó un valor de pH ligeramente ácido (6,3) mientras que el lixiviado fue alcalino (8,7). En ningún caso los valores de pH fueron limitantes para la absorción de nutrientes por el cultivo (FitzPatrick, 1996). En cambio, la CE en el vermicompost y lixiviado (8 y 12 mS/m, respectivamente) sugiere su aplicación con moderación; esto es debido a

que valores altos de CE podrían afectar procesos fisiológicos como, por ejemplo, la germinación (Majlessi et al., 2012). En este sentido, esta investigación recalca la importancia de conocer las características de los productos orgánicos que se aplican al suelo. Esto se debe a que si bien el vermicompost aporta materia orgánica estabilizada, puede incrementar la salinidad del suelo con la aplicación periódica de este tipo de producto.

La relación carbono/nitrógeno (C/N) en vermicompost y lixiviados fue <30 , lo que indicó que no existe riesgo de inmovilización de N por la biomasa microbiana (Huerta et al., 2010). Los macro y micronutrientes se encontraron en cantidades inferiores en el vermicompost con respecto a los registrados en lixiviados. Esta diferencia en la concentración de P, K, Ca y Mg entre ambos productos utilizados osciló en promedio entre 82-92 % (Tabla 1).

Calidad de *Solidago x hybrida*. El efecto del vermicompost en la calidad de *Solidago x hybrida* fue evidente solo en algunos casos. La aplicación de una dosis baja incrementó el peso fresco estadísticamente ($p<0,05$) respecto del testigo. La aplicación de una dosis alta incrementó la longitud de la panoja significativamente ($p<0,05$), y la aplicación de ambas dosis, alta y baja, incrementó el diámetro del tallo de la panoja respecto del testigo (Tabla 3).

Únicamente se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p<0,05$) entre ambas dosis de vermicompost en longitud de planta y longitud de vara floral. De manera que aplicar una dosis doble de vermicompost no tuvo mucho impacto sobre la calidad del cultivo. Considerando los valores de CE altos, la aplicación de una dosis alta de vermicompost no fue adecuada. Esto se debe a que pudo reducir la calidad del suelo por efecto de la presencia de sales, ocasionando una disminución de la absorción de agua. Como resultado, podría haber un desbalance nutricional, además de posibles daños a la raíz de los cultivos por toxicidad (FitzPatrick, 1996; Ojeda y Piré, 2001; Martínez et al., 2011).

La aplicación de ambas dosis de lixiviados causó pocas diferencias estadísticas respecto del control. Cuando se aplicó una dosis alta, las variables peso fresco, longitud de la planta y longitud de la panoja mostraron valores significativamente mayores ($p<0,05$) respecto del control (Tabla 3).

El tratamiento Q, que correspondió al tratamiento donde se aplicó el fertilizante mineral $[0,33 \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2]$, sirvió como referencia ya que los nutrientes que aportó muy posiblemente quedaron fácilmente disponibles una vez que entraron en contacto con la solución del suelo. Esto es similar a lo que sucede cuando se aplican lixiviados o cuando se aplica un producto poco estabilizado con materia orgánica lábil. Una sola aplicación del tratamiento Q aportó 291 kg de N/ha y 214,5 kg de Ca/ha, además de que los nutrientes estuvieron disponibles. Sin embargo, muy posiblemente también hubo pérdidas. Esto podría explicar por qué en las variables de calidad de cultivo valuadas no hubo diferencias estadísticas entre el tratamiento

Tabla 3. ANOVA de tratamientos de tres experimentos independientes.
Table 3. ANOVA for treatments from three independent experiments.

Tratamientos	NT	DP	PF	LP	LPJ	DT
	n= 90			n= 300		
		cm	g		Cm	
VDA	6,6 ab	16,2 a	151,6 ab	76,8 b	20,4 ab	0,42 a
VDB	6,5 ab	16,2 a	159,3 a	82,3 a	18,0 c	0,42 a
LDA	7,3 a	16,2 a	157,4 a	83,0 a	21,2 a	0,41 b
LDB	5,4 b	14,8 a	124,4 b	75,8 b	19,5 bc	0,41 b
Q	6,9 a	15,7 a	165,5 a	77,7 b	18,9 bc	0,43 a
T	6,0 ab	15,2 a	125,7 b	75,6 b	18,5 c	0,41 b
dsm	1,3	1,6	30,0	25,1	1,6	0,01

NT= número de tallos, DP= diámetro de la panoja, PF= peso fresco, LP= longitud de planta, LPJ= longitud de panoja y DT= Diámetro de tallo. Los tratamientos aplicados: VDA= vermicompost dosis alta, VDB= vermicompost dosis baja, LDA= lixiviado dosis alta, LDB= lixiviado dosis baja, Q= fertilizante químico, T= suelo control, (valor promedio \pm desviación estándar).

dsm: diferencia significativa mínima. En cada columna los valores promedio seguidos por la misma letra no son diferentes significativamente de acuerdo a dsm a 0,05 nivel de probabilidad.

Q con respecto al resto de los tratamientos y al control. Es decir, no hubo una ventaja evidente con las aplicaciones de fertilizante mineral.

La calidad de *Solidago x hybrida* fue mejor en casi todas las variables cuando se aplicaron dosis altas de vermicompost y lixiviados. Visualmente, aunque no estadísticamente, la calidad del cultivo disminuyó cuando se aplicó vermicompost respecto al lixiviado. Aunque el vermicompost aporta una cantidad importante de nutrientes [por ejemplo, aquellos relacionados en la calidad de *Solidago* en la producción de follaje como N (770 kg/ha) y en la rigidez del tallo como el Ca (22 kg/ ha)], éstos estuvieron posiblemente disponibles a mediano plazo como resultado de la actividad de la biomasa microbiana (Lakhdar et al., 2010; Bettiol y Ghini, 2011; Celis et al., 2013). En cambio, una sola aplicación de lixiviado en dosis alta aportó aproximadamente 480 kg de N/ha y 46 kg de Ca/ha en forma soluble. Esto incrementó la posibilidad de que el cultivo asimilara los nutrientes luego de su aplicación. En cuanto a los valores de la concentración de Na, una aplicación de dosis alta de lixiviados representó 4,83 mg Na/kg, indicando que aplicaciones periódicas al suelo ocasionarían una alcalinización del mismo a mediano plazo.

De forma general, los tratamientos VDB, LDA y Q mostraron el mejor efecto en el desarrollo de la planta con respecto al testigo. Esto indicó que la aplicación de VDB Y LDA podría sustituir la aplicación del fertilizante químico mineral, principalmente por el aporte de materia orgánica estabilizada en el caso del vermicompost y de los nutrientes que se encuentran fácilmente disponibles en el caso del lixi-

viado. Adicionalmente, los resultados sugieren que se debe mejorar la calidad del vermicompost. Por ejemplo, reduciendo los valores de conductividad eléctrica lo cual permitiría potenciar su uso.

El hecho de no encontrar diferencias marcadas al aplicar vermicompost y lixiviados, respecto del control, sobre las características de calidad del cultivo de *Solidago* podría atribuirse al posible efecto negativo de la cantidad de sales presentes en el vermicompost. Varios estudios han reportado que el exceso en la concentración de sales afecta el tamaño de la población microbiana del suelo y su actividad metabólica, y la disponibilidad de los nutrientes para el cultivo (Rietz y Haynez, 2003; Martínez et al., 2011, Celis et al., 2013).

En los estudios en los que se ha reportado una mejora en la calidad de las flores aplicando productos estabilizados, la proporción de vermicompost es alrededor del 60% del total del sustrato. Por ejemplo, cuando se siembran plantas en macetas (Chamani et al., 2008).

Efecto de la aplicación de vermicompost y lixiviado al suelo en incubaciones aerobias.

C orgánico potencialmente mineralizable. Para todos los tratamientos, el modelo que mejor se ajustó a los valores de C-CO₂ acumulado durante el experimento fue:

$$C_{org PM} = C_{org H} (1 - e^{-kt})$$

donde $C_{org PM}$ es el carbono orgánico potencialmente mineralizable a las nueve semanas, $C_{org H}$ es el carbono orgánico hidrolizable, y k es la constante de mineralización.

Tabla 4. Ajuste de los valores acumulados del Carbono mineralizado en los tratamientos y en el suelo control, $\alpha=0,05$.**Table 4.** Adjusted cumulative values of mineralized carbon in various treatments and the control, $\alpha=0.05$.

Tratamiento	<i>Corg PM</i>		<i>K</i>	<i>R</i> ²
	soluble lábil	hidrolizable		
	mg/kg suelo			
VDA		1072,4	0,231	0,984
VDB		987,0	0,257	0,848
LDA	102,9	819,4	0,209	0,986
LDB		712,0	0,325	0,881
T		670,0	0,189	0,879

Tratamientos aplicados: VDA, vermicompost dosis alta; VDB, vermicompost dosis baja; LDA, lixiviado dosis alta; LDB, lixiviado dosis baja; T, suelo control.

En el tratamiento LDA, se detectaron dos fracciones de C orgánico potencialmente mineralizable que se expresan por la ecuación:

$$Corg PM = Corg_{SL} + Corg_H (1 - e^{-kt})$$

donde $Corg_{SL}$ es la fracción soluble lábil de carbono (Tabla 4 y Fig. 1).

En el suelo control, el valor de la constante de mineralización fue de 0,189 mg de C/kg de suelo/semana, y el de $Corg PM$ fue de 670 mg de C/kg de suelo. Ambos valores se encuentran dentro de los valores reportados en otros estudios (Saviozzi et al., 1993; Guerrero et al., 2007). Cuando los valores de $Corg PM$ y k fueron menores con respecto a otros estudios, esto posiblemente se debió al mayor contenido de materia orgánica (Ramírez et al., 2011).

El menor valor de k correspondió al suelo control seguido por LDB, VDA, VDB y LDA, en donde posiblemente influyó la cantidad y calidad de la materia orgánica y la presencia de la biomasa microbiana (Saviozzi et al., 1993; Ruffo y Bollero, 2003; Guerrero et al., 2007). La fracción soluble lábil representó aproximadamente el 10% del total de $Corg PM$ al aplicar lixiviado en dosis alta (LDA). Esta fracción, en cambio, no se detectó al aplicarse LDB, posiblemente porque a esta concentración no se estimula suficientemente el crecimiento de la biomasa microbiana del suelo.

C orgánico mineralizado. En el tratamiento VDA se registró una mayor cantidad de $Corg M$, pero no fue significativamente diferente del resto de los tratamientos, excepto del control (Tabla 5). Una aplicación alta de lixiviado (LDA) no indicó una diferencia significativa respecto del resto de tratamientos ni del control. Se observó una mayor cantidad de $Corg M$ cuando se aplicó vermicompost respecto a la aplicación de lixiviados, pero esta diferencia no fue significativa ($p>0,05$).

Estos resultados contribuyen a reforzar lo observado en invernadero, en donde se consideró que la materia orgánica

que aporta el vermicompost al incorporarlo al suelo es mineralizada a lo largo del tiempo (Domínguez et al., 2010) y los nutrientes no están disponibles inmediatamente como cuando se aplican lixiviados. En estos últimos se encontró una fracción de materia orgánica fácilmente disponible. Esto sugiere que el vermicompost tiene un aporte de materia orgánica más estabilizada con respecto a la materia orgánica lábil que aporta el lixiviado (Chatterjee et al., 2013; Celis et al., 2013).

Tabla 5. C orgánico mineralizado ($Corg M$) después de nueve semanas de incubación, $Corg M$ respecto del C orgánico aplicado en cada tratamiento $Corg M/Corg A_i$, carbono orgánico mineralizado respecto del C orgánico del suelo control $(Corg M - Corg T)/Corg T$.

	$Corg M$	$Corg M/Corg A_i$	$(Corg M - Corg T)/Corg T$
	mg/kg suelo		%
VDA	932 ± 130 a	315 ± 130 b	40 ± 20 a
VDB	842 ± 34 ab	131 ± 63 a	49 ± 20 a
LDA	822 ± 67 ab	14 ± 6 c	24 ± 10 ab
LDB	736 ± 64 ab	17 ± 9 bc	15 ± 10 b
T	664 ± 38 b	---	---
dsm	261	117	82

VDA, vermicompost dosis alta; VDB, vermicompost dosis baja; LDA, lixiviado dosis alta; LDB, lixiviado dosis baja; T, suelo control, (valor promedio ± desviación estándar).

dsm: diferencia significativa mínima.

En cada columna los valores promedio seguidos por la misma letra no son diferentes significativamente de acuerdo a dsm a 0,05 nivel de probabilidad.

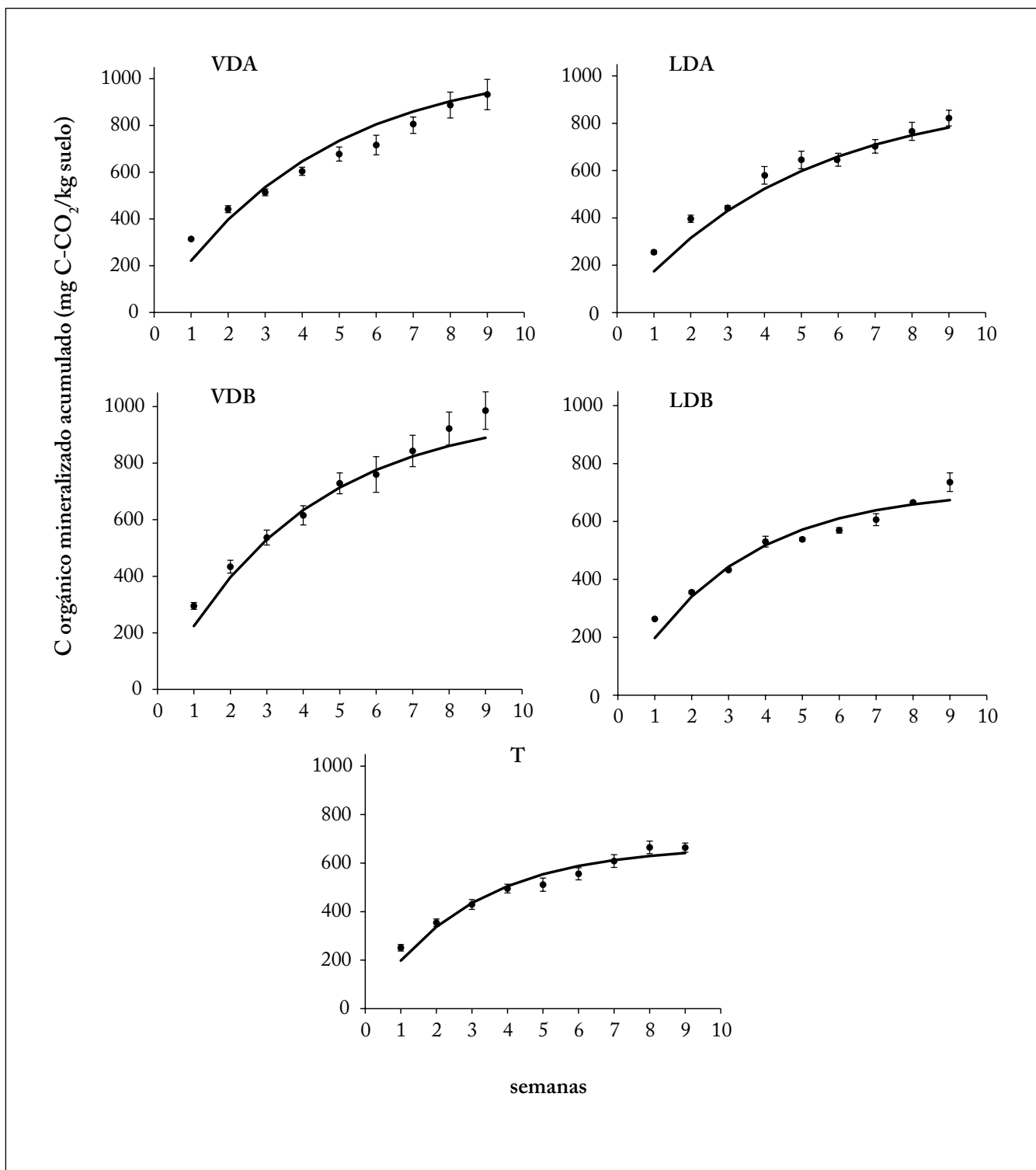


Fig. 1. Carbono orgánico mineralizado acumulado ($C_{org M}$) y C orgánico potencialmente mineralizable ($C_{org PM}$) de acuerdo al modelo ajustado en cada tratamiento y en el suelo control. VDA, vermicompost dosis alta; VDB, vermicompost dosis baja; LDA, lixiviado dosis alta; LDB, lixiviado dosis baja; T, suelo control.

Fig. 1. Cumulative mineralized organic carbon ($C_{org M}$) and potentially mineralizable organic C ($C_{org PM}$) according to the fitted model in each treatment and control soil. VDA, vermicompost high dose; VDB, vermicompost low dose; LDA, leachate high dose; LDB, leachate low dose; T, soil control.

La mayor cantidad de *Corg M* después de 9 semanas de incubación se obtuvo en los tratamientos donde se aplicó vermicompost, pero no fue significativamente diferente del resto de los tratamientos, excepto cuando se aplicó VDA respecto del suelo control (Tabla 5). En el suelo donde se aplicaron lixiviados, el *Corg M* fue más alto en LDA que en LDB, pero en ningún caso hubieron diferencias significativas respecto del suelo control. Los resultados podrían indicar que a mayor dosis de vermicompost se estimula más la actividad microbiana.

Cuando se aplicó vermicompost los valores de *Corg M/Corg A* fueron entre 131-315 mg/kg suelo, mientras que cuando se aplicaron lixiviados dicha relación solo representó entre un 14-17 mg/kg suelo. Esto indicaría que el vermicompost, además de estimular la presencia de la biomasa microbiana, posiblemente también favorece una mayor mineralización de la materia orgánica. Esta situación indicó que la materia orgánica estabilizada fue degradada lentamente por la biomasa microbiana, la misma que al morir aportó nutrientes al medio, incentivando la presencia de más microorganismos. Es decir, existe una degradación continua pero lenta de la materia orgánica (Isaza-Arias et al., 2009). Lo contrario sucede con los lixiviados en los que el material lábil se puede perder por la aplicación de riegos, desaprovechando nutrientes que podrían ser utilizados por los cultivos y los microorganismos del suelo (Hartz et al., 2000; Celis et al., 2013).

El análisis de la proporción del *Corg M - CorgT/Corg T* indicó valores más altos cuando se aplicó vermicompost (40-49%) que cuando se aplicaron lixiviados (15-24%). Estos resultados se asocian a una mayor actividad microbiana cuando se aplica vermicompost.

Los resultados de la proporción *Corg M - CorgT/Corg T* podrían indicar que para evidenciar un efecto importante en las características evaluadas en el cultivo se requieren valores de *Corg M - CorgT/Corg T* mayores a los estimados (15-49%). Es importante destacar el posible efecto negativo de los valores de conductividad eléctrica registrados en vermicompost y lixiviados sobre el rendimiento y calidad del cultivo.

CONCLUSIONES

Las dosis aplicadas de vermicompost (74 y 36 g/kg suelo) y lixiviados (10 y 5 mL/kg suelo) no mostraron un efecto importante en las variables medidas en *Solidago* respecto del control. Esto fue probablemente debido al efecto negativo de la conductividad eléctrica sobre la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, se recomienda precaución con las dosis y número de aplicaciones en los cultivos al utilizar estos productos.

En el ensayo de incubación aerobia se detectó la presencia de un pool de materia orgánica al aplicar vermicompost, indicando un valor de C orgánico mineralizado entre 987 y 1072 mg/kg. Cuando se aplicó una dosis alta de lixiviados se detectaron dos grupos de materia orgánica. El primero se asoció a una

fracción de materia orgánica fácilmente disponible, en donde el Carbono orgánico mineralizado fue de 103 mg/kg de suelo. El segundo grupo se asoció a una fracción de materia orgánica más resistente a la mineralización, con un valor de 819 mg/kg de suelo. Se recomienda considerar la presencia de estas dos fracciones, así como las necesidades del cultivo para su aplicación.

REFERENCIAS

- Arcanon, N.Q., C.A. Edwards, A. Babenko, J. Cannon, P. Galvis y J.D. Metzger (2008). Influences of vermicompost, produced by earthworms and microorganism from cattle manure, food waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse. *Applied Soil Ecology* 39: 91-99.
- ASERCA (2008). La Floricultura. Boletín Comercial. Noviembre. <http://www.aserca.gob.mx/artman/uploads/boletin--2008-11.pdf> [en línea]. (Consultada el 17 de septiembre de 2012).
- Atiyeh, R.M., S. Subler, C.A. Edwards, G. Bachman, J.D. Metzger y W. Shuster (2000). Effects of vermicomposts and compost on plant Growth in Horticultural Container Media and Soil. *Pedobiologia* 44: 579-590.
- Bernal, M.P., A.F. Navarro, M.A. Sanchez-Monedero, A. Roig y J. Cegarra (1998). Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 305-313.
- Bettiol, W. y R. Ghini (2011). Impacts of Sewage Sludge in Tropical Soil: A Case Study in Brazil. *Applied and Environmental Soil Science*. 11 pages.
- Blair, G.J., R.D. Lefroy y L. Lisle (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index [J]. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1459-1466.
- Busby, R.R., H.A. Torbert y D.L. Gebhart (2007). Carbon and nitrogen mineralization of non-composted and composted municipal solid waste in sandy soils. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1277-1283.
- Celis, J.E., M. Sandoval, B. Martínez y C. Quezada (2013). Effect of organic and mineral amendments upon soil respiration and microbial biomass in a saline-sodic soil. *Ciencia e investigación Agraria* 40: 571-580.
- Chamani, E., D.C. Joyce y A. Reihanytabar (2008). Vermicompost effects on the growth and flowering of *Petunia hybrida* 'Dream Neon Rose'. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment Sciences* 3: 506-512.
- Chan, P.L. y T. Griffiths (1998). The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes* 24: 57-69.
- Chand, S., P. Pande, A. Prasad, M. Anwar y D.D. Patra (2007). Influence of Integrated Supply of Vermicompost and Zinc-Enriched Compost with Two Graded Levels of Iron and Zinc on the Productivity of Geranium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 2581-2599.
- Chatterjee, N., M. Flury, C. Hinman y C.G. Cogger (2013). Chemical and Physical Characteristics of Compost Leachates. A Review Report prepared for the Washington State Department of Transportation. Washington State University 54 p.
- Domínguez, J., C. Lazcano y M. Gómez-Brandón (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*. Número especial 2: 359-371.

- Durand, G.R. y D. Barceló (1989). Determination of chlorotriazine herbicides, their dealkylated degradation products and organophosphorous pesticides in soil samples by means of two different clean up procedures. *Chromatographia* 28: 597-598.
- Etchevers, B.J. (1992). Manual de Métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad. Laboratorio de Fertilidad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. México.
- FitzPatrick, E.A. (1996). Introducción a la ciencia de los suelos. Ed. Trillas, México, D.F. 288 p.
- González, N.A. (2004). Desarrollo metodológico del proceso de formación de bulbos en *Lilium* sp, a partir de bulbillos hipógeos crecidos en diferentes proporciones de lombricomposta. Tesis Maestría. Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México. 71 p.
- Griffin, T.S., C.W. Honneycutt, S.L. Albrecht, K.R. Sistani, H.A. Torbert, B.J. Wienhold, B.L. Woodbury, R.K. Hubbard y J.M. Powell (2008). Nationally coordinated evaluation of soil nitrogen mineralization rate using standardized aerobic incubation protocol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 257-268.
- Guerrero, C., R. Moral, I. Gómez, R. Zorzona y V. Arenegui (2007). Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurry. *Bioresource Technology* 98: 3259-3264.
- Hartz, T.T.K., J.P. Mitchell y C. Giannini (2000). Nitrogen and Carbon Mineralization Dynamics of Manures and Composts. *Hortscience* 35: 209-212.
- Huerta, O., M. López y M. Soliva (2010). Procés de compostaje: Caracterizació de mostres. Diputació Barcelona. 432 p.
- Ingham, E. (2005). The compost tea Brewing Manual. Soil Foodweb Inc., Corvallis, Oregon. 79 p.
- Isaza-Arias, M.A., J.R. Pérez-Méndez, G. Laines-Canepa y I. Castañón-Nájera (2009). Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Universidad y Ciencia* 25: 233-243.
- Lakhdar, A., R. Scelza, R. Scotti, M.A. Rao, N. Jedidi, L. Gianfreda y C. Abdely (2010). The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 10: 40-47.
- Lu, Q., L.H. Zhenli y P.J. Stoffella (2012). Land Application of Biosolids in the USA: A Review. Review Article. *Applied and Environmental Soil Science*. 11 pages.
- Mahmoud, E.K. y M.M. Ibrahim (2012). Effect of vermicompost and its mixtures with water treatment residuals on soil chemical properties and barley growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12: 432-440.
- Majlessi, M., A. Eslami, H. Najafi, S. Mirshafiean y S. Babaii (2012). Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 9(25).
- Martínez, N., C.V. López, M. Basurto y R. Pérez (2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 5: 156-161.
- McLauchlan, K. y S. Hobbie (2004). Comparison of labile soil organic matter fractionation techniques. *Soil Science Society of America Journal* 68: 1616-1625.
- Milpa-Mejía, S., A. González-Castellanos, G.N. Grenón-Cascales y L.M. Vázquez-García (2012). Cultivo en maceta de *Iris xiphium* L. (*Iris* de Holanda) con diferentes concentraciones de humus de lombriz y sus lixiviados. *Revista de Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo* 44: 109-117.
- SAGARPA (2007). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Norma Oficial Mexicana NMX-FF 109-SCFI 2007. Diario Oficial de la Federación 31 de diciembre del 2002. Humus de lombriz (Lombricomposta). Especificaciones y métodos de prueba. Vermicompost (Worm casting). Specifications and test methods. 2-29 páginas.
- Ojeda, M. y R. Piré (2001). Efecto de la salinidad en dos portainjertos de vid cultivados a pie franco o injertados. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 43-52.
- O'Rya, H.J. y P.M. Riffó (2007). El compostaje y su utilización en la agricultura. Fundación para la Innovación Agraria. Universidad de las Américas, Santiago de Chile. 36 p.
- Pedra, F., A. Polo, A. Ribeiro y H. Domínguez (2007). Effects of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1375-1382.
- Preciado, R.P., H.M. Fortis, H.J. García, P.E. Rueda, J.R. Esparza, H.A. Lara, C.M.A. Segura y V.J. Orozco (2011). Evaluaciones de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia* 9: 689-693.
- Quemada, M. y M.L. Cabrera (1995). Carbon and nitrogen mineralization from leaves and stems of four cover crops. *Soil Science Society of America Journal* 59: 471-477.
- Ramírez, M., M. Pujolá, M. Quemada, E. Jarauta-Bragulat, A. Bonmatí y J. Comas (2011). Soil Nitrogen availability after addition of thermally dried pig slurry. *Soil Science Society of America Journal* 75: 940-948.
- Rietz, D.N. y R.J. Haynes (2003). Effects of irrigation induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 845-854.
- Rodríguez, N., P. Cano, U. Figueroa, E. Favela, A. Moreno, C. Márquez, E. Ochoa y P. Preciado (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 4: 319-327.
- Ruffo, M.L. y G. Bollero (2003). Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen rates based on biochemical fraction using principal component regression. *Agronomy Journal* 95: 1034-1040.
- Saviozzi, A., R. Levi-Minzi y R. Riffaldi (1993). Mineralization parameters from organic materials added to soil as a function of their chemical composition. *Bioresource Technology* 45: 131-135.
- Silva, A.S.M. y F.J. Correa (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la Normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semestre Económico* 12: 13-34.
- Stanford, G. y S.J. Smith (1972). Nitrogen mineralization potentials in soils. *Soil Science Society of America Journal* 36: 465-472.
- Van-Camp, L., B. Bujarrabal, A.R. Gentile, R.J.A. Jones, L. Montanarella, C. Olazabal y S.K. Selvaradjou (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for soil protection. EUR 21319 EN/3, Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburgo, 872 p.
- Volke, S.T. y J.A. Velasco (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. Ed. Instituto Nacional de Ecología, México, D.F. 62p.
- Wilson, D.P. y D.W. Carlile (1989). Plant growth in potting media containing worm-worked duck waste. *Acta Horticulturae* 238: 205-220.
- Zibiliske, L.M. (1994). Carbon mineralization. En: R.W. Weaver, S. Angle, P. Bottlomy, D. Bezdicek, S. Smith, A. Tabatabai y A. Wollum (Eds.), pp. 835-863. *Methods of Soil Analysis. Part II. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book Series* (5). Madison, WI.