

TOXICIDAD DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS ESTIMADA CON BIOENSAYO DE GERMINACIÓN DE LECHUGA

Organic Fertilizer Toxicity Estimated by a Lettuce Germination Bioassay

Elena Huerta Muñoz¹, Javier Cruz Hernández^{1*}, Luciano Aguirre Álvarez¹,
Raymundo Caballero Mata¹ y Luis Felipe Pérez Hidalgo²

RESUMEN

Aunque existe una gran cantidad de trabajos que reportan la fitotoxicidad presente en fertilizantes orgánicos, pocos se han realizado con residuos pecuarios, más específicamente con estiércoles. El presente estudio tuvo por objetivo determinar el índice de germinación (IG) como parámetro de fitotoxicidad de dos abonos orgánicos hechos a base de estiércol vacuno, de conejo y un abono comercial. La fitotoxicidad se midió mediante bioensayos de germinación con lechuga, poniendo a germinar diez semillas en 10 mL de extracto acuoso obtenido, respectivamente, de las proporciones 0.5:5.0, 1.0:5.0 y 1.5:5.0 (v:v) en relación abono/agua destilada; como testigo se utilizó agua destilada. Tras permanecer seis días en germinación a 25 °C, se recabaron los datos necesarios para calcular el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento radicular relativo (CRR) y posteriormente obtener el IG. Los resultados arrojaron índices de germinación superiores a 80% en 18 de los 19 tratamientos evaluados; por otro lado, las interacciones entre factores indicaron que es el abono, más que la proporción, lo que determina la posible presencia de fitotoxinas. Los resultados obtenidos permiten afirmar que los abonos evaluados presentan de un moderado a un bajo grado de fitotoxicidad.

Palabras clave: *Lactuca sativa L.; estiércol; fitotoxicidad; esterilización.*

SUMMARY

Even though there is a large amount of research on phytotoxicity of organic fertilizers, few have assessed livestock waste, or more specifically cattle manure. The main objective of this work was to determine the germination index (GI) as a phytotoxicity parameter of two organic fertilizers made from cow and rabbit manure, as well as one of a commercial brand. Phytotoxicity was measured in lettuce germination bioassays by germinating ten lettuce seeds in 10 mL of aqueous extract with 0.5, 1.0 and 1.50 parts of organic fertilizer and 5 parts of distilled water (v:v); distilled water was used as the control. After six days in a 25 °C controlled environment for seed germination, we calculated the relative seed germination percentage (RSG), as well as relative root growth (RRG) for the GI in the later process. The results showed germination indexes above 80% in 18 of the 19 treatments. Moreover, interactions between different factors indicated that manure, rather than its proportion, determines the presence of phytotoxins. The results of this study allow us to assert that the organic fertilizers assessed have a moderate to low degree of phytotoxicity.

Index words: *Lactuca sativa L.; manure; phytotoxicity; sterilization.*

INTRODUCCIÓN

Debido a la fuente de nutrientes usada, los fertilizantes se dividen en minerales, también denominados de síntesis química, y orgánicos. En ambos casos existen provechos y desventajas asociados con su uso. Por un lado, una gran ventaja de los fertilizantes de síntesis química es que permiten obtener altos rendimientos en los cultivos durante periodos de tiempo cortos; entre sus desventajas está su alto costo ambiental

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5. 72760 Puebla, Puebla, México.

* Autor responsable (javiercruz@colpos.mx)

² Universidad Politécnica de Puebla. Tercer Carril del Ejido Serrano s/n San Mateo Cuanalá. 72640 Puebla, Puebla, México.

y económico, siendo éste último una limitante en los países del tercer mundo, donde los agricultores en ocasiones no pueden tener acceso a ellos (El-Nagerabi *et al.*, 2012).

Por su parte, los abonos orgánicos tienen enormes ventajas, no sólo económicas por ser baratos, sino también ambientales, como lo es su contribución en la remediación de suelos al mejorar sus propiedades físicas y químicas, al igual que la proliferación de microorganismos y diversidad biológica, además de mantener su fertilidad a largo plazo; en términos de producción representan una fuente importante de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y otros elementos nutritivos para los cultivos (Zubillaga y Lavado, 2006; Félix-Herrán *et al.*, 2008; Hernández-Rodríguez *et al.*, 2010). No obstante, un factor limitante o condición para la elaboración de abonos orgánicos es que los insumos deben de existir en grandes cantidades, deben ser fáciles de conseguir y, cuando se busca procesarlos, también debe ser fácil someterlos a compostaje, en caso contrario su fabricación no resultaría viable (Verdonck, 1998). Afortunadamente son muchos los residuos que pueden utilizarse y diversos los productos finales que se obtienen con su procesamiento. Entre los residuos más populares en la actualidad se encuentran los agropecuarios, tales como rastrojos o estiércoles, que son adecuados para elaborar compost, materiales ampliamente estudiados y que además son una parte integral de la agricultura sustentable; el uso eficiente de estos residuos sin que se produzcan daños al ambiente y a la salud de los consumidores, es objetivo prioritario de muchas investigaciones (Bernal y Roig, 1993).

El compost es un fertilizante o abono orgánico que resulta como producto final de un proceso controlado aeróbico de descomposición de residuos orgánicos, el cual al pasar por una fase termofílica, se espera quede libre de semillas y microorganismos dañinos, maduro y estable (Litterick *et al.*, 2004). La madurez y la estabilidad son los principales requerimientos que los compost deben cumplir al ser aplicadas (Bernal *et al.*, 1998). El término madurez se refiere al grado de descomposición de sustancias fitotóxicas, como ácidos orgánicos o altas concentraciones de sales, y la estabilidad se refiere al grado de descomposición o humificación de la materia orgánica en un compost. El compost debe cumplir con ambos parámetros, pues de lo contrario podría llegar a tener un comportamiento tóxico que afecte a los cultivos (Zubillaga y Lavado, 2006; Paradelo *et al.*, 2010).

Los efectos fitotóxicos de un material orgánico inmaduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, de ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales. Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden inhibir la germinación de semillas o el crecimiento de raíces, por lo que es altamente riesgosa su utilización en cultivos (Varnero *et al.*, 2007).

Para detectar de manera indirecta la presencia de toxinas, uno de los métodos más ampliamente utilizados consiste en realizar bioensayos de fitotoxicidad con semillas sensibles a fitotoxinas, basados en el método propuesto por Zucconi *et al.* (1981), al cual se han ido integrando otras especies indicadoras, sensibles a elementos tóxicos, así como algunas variaciones en la cantidad de extracto necesario para las pruebas.

Existe un consenso general en cuanto a que los parámetros biológicos como las pruebas de germinación resultan los más adecuados (Lisaridi y Stentiford, 1998; Emino y Warman, 2004; Celis-Hidalgo *et al.*, 2007; Varnero *et al.*, 2007; Estévez-Schwartz *et al.*, 2009). En lo referente a bioensayos de fitotoxicidad con fertilizantes orgánicos, en la actualidad se puede encontrar una gran cantidad de estudios al respecto; sin embargo, la mayoría de estos han tratado sobre fertilizantes elaborados a base de desechos sólidos municipales y no de abonos hechos con residuos de granjas (donde se incluye a los pecuarios), que son esencialmente diferentes de los otros tipos (D'Hose *et al.*, 2012).

En los trabajos destinados a conocer la fitotoxicidad de estiércoles, casi toda la investigación se ha hecho sobre compost de estiércoles porcinos y equinos, mezclados con otro tipo de residuos. Hay poca información en la que se comparen compost formados exclusivamente de estiércoles, y entre estiércoles de distintas especies animales. Debido a que los materiales de compost pueden llegar a ser sustancialmente diferentes, es posible encontrar resultados contradictorios cuando índices (de germinación) establecidos para un material son aplicados a otros (Paradelo *et al.*, 2010).

Debido a lo anterior, en la presente investigación se tuvo como objetivo determinar la existencia de fitotóxicos en fertilizantes orgánicos, específicamente de compost hechos de estiércoles de ganado vacuno y conejos, ya que este tipo de conocimiento puede ser muy útil dentro del campo de los abonos orgánicos y sus aplicaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de Muestras

Se eligieron tres tipos de fertilizantes orgánicos, uno comercial y dos compost hechos a base de estiércol vacuno y otro de estiércol de conejo, elaborados mediante el sistema de pilas, que consiste en que el material seleccionado se apile en montículos o pilas triangulares con una masa mínima de 50 a 100 kg de residuos biodegradables (Röben, 2002). Fue seleccionada una muestra compuesta de los abonos, para ello en cada abono se aplicó la técnica de cuarteos sucesivos, según la metodología descrita en NOM-159-SEMARNAT-2011, que define el método como: el conjunto de acciones que se llevan a cabo de manera sucesiva y consiste en mezclar y dividir en cuatro las muestras, con el propósito de reducir la muestra completa original hasta obtener el tamaño adecuado y homogéneo para el análisis de caracterización. Posteriormente, los abonos fueron tamizados por separado, y para hacer los análisis fisicoquímicos se utilizó el material con partículas < 5 mm.

Caracterización Fisicoquímica

El pH se determinó en extractos saturados en proporción 1.0:5.0 (v:v) de abono tamizado y agua destilada. Después de agitar la muestra fue utilizado un medidor de pH marca CONDUCTRONIC PC18®, calibrado con soluciones reguladoras (buffer) de referencia pH 4, 7 y 10 a temperatura ambiente.

La conductividad eléctrica (CE) se obtuvo utilizando las mismas muestras preparadas para pH, y la lectura fue registrada una vez que esta se estabilizó. En ambos casos las mediciones se hicieron por quintuplicado, siguiendo la metodología de la NOM-FF-109-SCFI-2007, que establece especificaciones y métodos de prueba para lombricomposta.

Bioensayos de Germinación

Con objeto de detectar la presencia y el porcentaje de fitotoxicidad de los fertilizantes orgánicos elegidos para el análisis, y a la vez su incidencia sobre la germinación y el crecimiento de las plantas, se realizó un bioensayo con semillas indicadoras. Los bioensayos de germinación están basados en la colocación de semillas de una o varias especies vegetales en contacto

con el extracto acuoso del material a probar, comparándose con un testigo la tasa de germinación de dichas semillas y la elongación de las radículas emergidas.

Los bioensayos de germinación fueron efectuados de acuerdo con la metodología propuesta por Zucconi *et al.* (1981), y la cantidad de extracto sugerida por Varnero *et al.* (2007). Se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad Paris Island y el extracto acuoso de los tres abonos orgánicos mencionados. El Cuadro 1 muestra los factores y niveles de estudio utilizados para el establecimiento del bioensayo.

De cada muestra obtenida de los abonos en estudio se conformaron dos grupos para análisis, uno de material previamente esterilizado en autoclave para eliminar la presencia de agentes bióticos no deseados y uno más al que no se le hizo la desinfección. A partir de los materiales esterilizados y no esterilizados fueron preparados tres extractos en proporción 0.5:5.0, 1.0:5.0 y 1.5:5.0 (v:v), en relación abono/agua destilada.

Se colocaron posteriormente 10 mL de cada extracto en cajas Petri, donde se depositaron 10 semillas de lechuga sobre papel filtro humedecido con el respectivo extracto. Las muestras fueron comparadas con un testigo, que consistió en agua destilada.

Una vez colocadas las semillas en las cajas Petri, se mantuvieron en una cámara de germinación (modelo BL Barntead/ Lab-Line) durante seis días a una temperatura constante de 25 °C y 75% de humedad relativa. Al término de los seis días se calculó el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento de la radícula relativo (CRR) e índice de germinación (IG), según la metodología descrita por Tiquia (2000).

$$PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el extracto}}{\text{Número de semillas germinadas en el trigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Elongación de radícula en el extracto}}{\text{Elongación de radícula en el trigo}} \times 100$$

$$IG = \frac{(PGR)(CRR)}{100}$$

El criterio de interpretación para el índice de germinación fue establecido de la siguiente manera: si el índice de germinación tiene valores menores a 50%

Cuadro 1. Factores y niveles de los bioensayos de germinación.

Factor	Nivel de estudio
Abono	Vacuno, conejo y comercial
Proporción (v/v)	0.5:5.0; 1.0:5.0 y 1.5:5.0
Esterilización	Esterilizado y sin esterilizar

indica una alta fitotoxicidad del material, si está entre 50 y 80% la fitotoxicidad es moderada, y si su valor es superior a 80% el material no presenta fitotoxicidad (Emino y Warman, 2004).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 30 semillas para cada uno de los 19 tratamientos. Los datos en porcentaje o en proporción fueron transformados según las fórmulas indicadas por Montgomery (2011), previo a la ejecución del análisis estadístico. Todas las variables se analizaron mediante modelo lineal general (MLG), con varianza y prueba de Tukey ($P < 0.05$) cuando hubo diferencias estadísticamente significativas. El análisis estadístico fue hecho con el programa estadístico SAS® Versión 9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En todas las variables analizadas se presentaron diferencias estadísticas significativas por efecto de tratamientos (Cuadro 2).

En el Cuadro 3 se presentan las medias y diferencias por variable entre tratamientos estudiados. Todos los extractos mostraron valores de pH superiores al tratamiento control, lo cual puede estar asociado a un valor de pH alcalino común de los compost elaborados a partir de estiércol. El menor valor de pH lo presentó el extracto de compost de vacuno esterilizado (BE1).

Todos los extractos alcanzaron valores de CE superiores al control y se aprecian valores crecientes en esta variable, con aumentos graduales de la cantidad

de abono utilizada en cada tipo de extracto. Esta relación es menos clara en los valores obtenidos de pH, y en la mayoría de los casos sin mostrar diferencias significativas al aumentar la proporción de abono utilizado. Entre los extractos, el menor valor de CE se consiguió con el extracto de compost de estiércol vacuno con y sin esterilización, a la proporción de 0.5 (BSE0.5 y BE0.5), mientras que el tratamiento a base de extracto de abono comercial sin esterilización a la mayor proporción (ASE1.5), obtuvo un valor de CE superior al resto de los tratamientos, así como por arriba de los valores deseados para un buen desarrollo vegetal; por lo que los efectos de dicho tratamiento se reflejan en el resto de las variables, en particular en longitud de raíz y en IG. Este efecto puede estar asociado a que el abono comercial presenta mayor contenido de sales solubles; situación que debería tomarse en cuenta para evitar aplicar dosis altas, que pudieran ocasionar posibles daños en la germinación y crecimiento de cultivos sensibles a la salinidad, y más por tratarse de un producto comercial.

El mayor número de semillas germinadas (SG) y los valores superiores de longitud de raíz (LR), crecimiento radicular relativo (CRR) e índice de germinación, se consiguieron con el extracto de compost de estiércol de conejo sin esterilizar, a la proporción 1.5 (DSE1.5). Los menores valores en estas variables fueron obtenidos con los extractos sin esterilizar comercial, a 1.5 (ASE1.5), y con el de estiércol de vacuno a 1 (BSE1), el ASE1.5 además con el menor valor de LR, y el BSE1 con el valor más bajo de SG.

Así, con base en el criterio establecido por Emino y Warman (2004), los tratamientos ASE1.5 y BSE1 presentaron fitotoxicidad moderada. El resto de los tratamientos mostraron un IG superior a 80%, por lo cual puede indicarse que no ejercen efectos fitotóxicos en la germinación de semillas de lechuga. Con base en este mismo criterio, se observó que el tratamiento con menor grado de fitotoxicidad fue el extracto de estiércol

Cuadro 2. Análisis de varianza para el efecto de tratamientos sobre variables de germinación en lechuga cv. Paris Island.

Variable	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-valor	Pr > f
pH	11.9	0.5	122.2	< 0.0001
Conductividad eléctrica	127.3	5.3	1250.9	< 0.0001
Semilla germinada	173.9	5.0	4.540	< 0.0001
Longitud radicular	30.5	0.7	2.8	< 0.0009
Porcentaje de germinación relativo	47193.3	1164.2	3.0	< 0.0005
Crecimiento radicular relativo	167784.6	3969.6	2.7	< 0.0013
Índice de germinación	400698.2	9600.1	2.8	< 0.0010

Cuadro 3. Efecto de extractos de tres tipos de compost con esterilización y sin esterilización en variables de germinación de lechuga cv. Paris Island.

ID	Tratamiento	pH	CE	SG	PGR	CRR	IG
			dS m ⁻¹	cm	%	%	
ASE0.5	1	8.3 def	2.1 f	8.6 a	1.8 abc	134.6 a	197.6 abc
ASE1	2	8.6 a	3.2 d	7.0 a	1.3 abc	108.5 a	105.3 bc
ASE1.5	3	8.6 a	5.1 a	7.5 a	0.7 c	115.2 a	65.9 bc
AE0.5	4	8.5 abc	2.1 f	9.0 a	0.9 c	140.1 a	104.3 bc
AE1	5	8.5 abc	4.2 c	8.3 a	1.3 abc	129.0 a	118.4 abc
AE1.5	6	8.5 abc	4.7 b	7.6 a	0.9 bc	118.0 a	83.7 bc
BSE0.5	7	8.1 g	0.4 m	8.5 a	1.7 abc	131.4 a	152.9 abc
BSE1	8	8.2 efg	0.8 k	6.3 a	0.9 c	98.2 a	65.6 c
BSE1.5	9	8.3 cde	1.1 i	9.0 a	1.2 bc	139.3 a	118.1 abc
BE0.5	10	7.8 hi	0.6 l	8.6 a	2.1 abc	134.2 a	206.7 ab
BE1	11	7.8 i	1 j	6.6 a	2.2 abc	103.3 a	180.4 abc
BE1.5	12	8.0 gh	1.4 g	6.5 a	1.4 abc	99.8 a	103.7 bc
DSE0.5	13	8.6 ab	1.3 hg	9.3 a	1.8 abc	143.7 a	155.9 abc
DSE1	14	8.6 ab	2.1 f	9.0 a	1.5 abc	138.5 a	155.9 abc
DSE1.5	15	8.6 a	3.0 e	9.3 a	2.7 a	144.9 a	295.9 a
DE0.5	16	8.2 efg	1.2 hi	8.5 a	1.5 abc	130.6 a	141.2 abc
DE1	17	8.4 bcd	2.1 f	8.6 a	2.5 abc	133.0 a	252.3 abc
DE1.5	18	8.5 abc	3.1 e	8.0 a	1.4 abc	124.3 a	134.2 abc
Testigo	19	6.7 j	0.0 n	7.0 a	1.4 abc	100.0 a	100.0 bc
DMS		0.2	0.1	3.3	1.5	62.5	186.5

Médias con grupo de letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). pH = potencial hidrógeno; CE = conductividad eléctrica; SG = semillas germinadas; LR = longitud radicular; PGR = porcentaje de germinación relativo; CRR = crecimiento radicular relativo; IG = índice de germinación; A = abono comercial; B = compost de estiércol de vaca; D = compost de estiércol de conejo; SE = sin esterilizar; E = esterilizado; DMS = diferencia significativa mínima. Los números 25, 50 y 75 se refieren a las proporciones 0.5:5, 1.0:5 y 1.5:5, respectivamente.

de conejo sin esterilizar, a la máxima proporción estudiada (DSE1.5). Este tratamiento resultó con la mayor longitud de raíz (LR) e IG, pero únicamente alcanzó diferencias significativas en LR con el tratamiento ASE1.5 y en IG con los tratamientos ASE1.5 y el extracto de estiércol vacuno sin esterilización, a la proporción 1:5 (ABSE1).

Varnero *et al.* (2007), al calcular el grado de fitotoxicidad de extractos 1:5 de compost elaborados a partir de tres tipos de residuos sobre la germinación de semillas de lechuga (*Lactuca sartiva* L. var. Cuatro Estaciones) y rabanito (*Raphanus sativus* L. var. Cherry Bell), encontraron valores de IG entre 20 y 80%, inferiores a los observados en la presente investigación, e indican que el grado de fitotoxicidad está relacionado con el tipo de residuo, el grado de madurez del compost y que la sensibilidad a la detección de sustancias tóxicas se relaciona con la especie utilizada, así mismo refieren

que el IG es un buen indicador para evaluar el grado de madurez de los compost. Por su parte, Emino y Warman (2004) indican que las especies más sensibles a fitotóxicos responden con un menor número de semillas germinadas y con menor desarrollo de raíz.

En el Cuadro 4 se presentan las diferencias estadísticas de las medias por variable y por factores de estudio. En el efecto de esterilización no se encontraron diferencias entre tratamientos con o sin esterilización en todas las variables de germinación estudiadas, únicamente los tratamientos sin esterilización resultaron superiores al testigo en las variables SG y PGR.

Al comparar el efecto de tipo de abono, se aprecia que el extracto obtenido del compost de conejo resultó superior al testigo en todas las variables de germinación estudiadas en la lechuga, y solo resultó superior al extracto del compost comercial en LR, CRR e IG.

Cuadro 4. Comparación de medias por factores de estudio en variables de germinación de lechuga cv. Paris Island.

Factor	SG	LR	PGR	CRR	IG
		cm	- - - - -	%	- - - - -
No esterilizado	8.2 a	1.5 a	128.3 a	111.9 a	149.3 a
Esterilizado	8.0 a	1.6 a	123.6 ab	118.2 a	147.2 a
Testigo	7.0 a	1.4 a	100.0 b	100.0 a	100.0 a
Abono					
Comercial	8.0 ab	1.2 b	124.0 ab	88.0 b	112.5 b
Vaca	7.6 ab	1.6 ab	117.7 ab	116.3 a	137.9 ab
Conejo	8.8 a	1.9 a	135.9 a	140.8 a	194.4 a
Testigo	7.0 b	1.4 ab	100.0 b	100.0 b	100.0 b
Extracto					
0.5	8.7 a	1.6 a	135.8 a	135.8 a	164.9 a
1	7.6 ab	1.6 a	118.0 ab	118.0 ab	146.3 a
1.5	8.0 ab	1.4 a	123.6 ab	123.6 ab	133.6 a
Testigo	7.0 b	1.4 a	100.0 b	100.0 b	100.0 a
Interacciones					
Ester × abono	NS	*	NS	*	NS
Ester × extracto	NS	**	NS	**	**
Abono × extracto	NS	NS	NS	NS	NS
Ester × abono × extracto	NS	*	NS	*	NS

Grupo de letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). SG = semillas germinadas; LR = longitud radicular; PGR = porcentaje de germinación relativo; CRR = crecimiento radicular relativo; IG = índice de germinación; ester = esterilización. Letras distintas indican diferencias significativas.

El extracto de abono comercial presenta el menor valor de IG en relación con los otros dos compost estudiados, pero en promedio no alcanzó un efecto fitotóxico.

El extracto presentó diferencias significativas únicamente en las variables SG y CRR. En estas variables el extracto 0.5 alcanzó los mayores valores en relación al testigo y solo resultó superior en SG en relación al extracto 1. Si bien no fueron observadas diferencias significativas en IG por efecto de proporción, sí se aprecia una tendencia a disminuir el IG, con aumentos en la proporción estudiada de compost y en todos los casos con valores que no muestran fitotoxicidad.

Las interacciones esterilización × abono y esterilización × abono × extracto presentaron diferencias significativas en las variables LR y CRR, mientras que esterilización × extracto además alcanzó diferencias significativas en IG.

Las afectaciones ocasionadas por los fitotóxicos no solo se asocian a la presencia de toxinas en sí mismas, sino que también se espera que cuanto mayor sea la de los extractos, al incrementar la proporción de soluto en la disolución, menor será la germinación y la elongación radicular debido entre otras cosas, a una elevada concentración de sales (Rojas *et al.*, 2005). En este

estudio, sin embargo, los resultados obtenidos no muestran que las proporciones tengan una incidencia directa sobre la germinación de las semillas, por el contrario, esta solo se aprecia de manera más clara en el tipo de fertilizante. En este sentido, si bien ninguno parece tener un efecto negativo sobre la germinación de las semillas de lechuga, sí se aprecia que el compost de conejo resultó más maduro y estable, mientras que el compost comercial podría ejercer un efecto fitotóxico, dependiendo de la proporción utilizada en el extracto, lo cual indica que presenta un menor grado de madurez, quizá debido a un posible mayor contenido de sales solubles.

Por otro lado, la condición de esterilizado y no esterilizado de los abonos no mostró tener influencia positiva o negativa sobre la germinación de las semillas de lechuga, por lo cual se sugiere que los compost no presentaban microorganismos que pudieran afectar la germinación al momento de la fase experimental.

Por último, en la presente investigación se obtuvieron valores altos de Crecimiento Radicular Relativo en casi todos los tratamientos, superiores a 50%. Estos resultados son muy similares a los obtenidos por Zubillaga y Lavado (2006), quienes reportaron valores superiores a 67% en el caso de los estiércoles de vaca.

CONCLUSIÓN

El compost de conejo, seguido del compost vacuno, no presentaron efectos fitotóxicos que inhibieran la germinación de la lechuga como especie indicadora, inclusive se obtuvo un índice de germinación más alto que en el sustrato comercial, lo cual indica que estos abonos son maduros y estables, y pueden ser aplicados a los cultivos sin correr el riesgo de tener efectos negativos.

LITERATURA CITADA

- Bernal, M. P. and A. Roig. 1993. Nitrogen transformations in calcareous soils amended with pig slurry under aerobic incubation. *J. Agric. Sci.* 120: 89-97.
- Bernal, M. P., C. Paredes, M. A. Sánchez-Monedero, and J. Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresour. Technol.* 63: 91-99.
- Celis-Hidalgo, J., M. Sandoval-Estrada y M. Briones-Luengo. 2007. Bioensayos de fitotoxicidad de residuos orgánicos en lechuga y ballica anual realizados en un suelo Alfisol degradado. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 7: 51-60.
- D'Hose, T., M. Cougnon, A. de Vlieghe, K. Willekens, E. Van Bockstaele, and D. Reheul. 2012. Farm compost application: effects on crop performance. *Compost Sci. Util.* 20: 49-56.
- El-Nagerabi, S. A. F., A. E. Elshafie, and H. S. AlRawahi. 2012. Physicochemical and microbial characteristics of locally processed green waste composts. *Compost Sci. Util.* 20: 120-127.
- Emino, E. R. and P. R. Warman. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Sci. Util.* 12: 342-348.
- Estévez-Schwartz, I., S. Seoane, A. Núñez, and M. E. López-Mosquera. 2009. Characterization and evaluation of compost utilized as ornamental plant substrate. *Compost Sci. Util.* 17: 210-219.
- Félix-Herrán, J. A., R. R. Sañudo-Torres, G. E. Rojo-Martínez, R. Martínez-Ruiz y V. Olalde-Portugal. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra-Ximhai.* 4: 57-67.
- Hernández-Rodríguez, O. A., D. L. Ojeda-Barrios, J. C. López-Díaz, y A. M. Arras-Vota. 2010. Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnocienc. Chihuahua* 4: 1-6.
- Lisaridi, K. E. and E. I. Stentiford. 1998. Biological parameters for compost stability assessment and process evaluation. *Acta Hort.* 469: 119-128.
- Litterick, A. M., L. Harrier, P. Wallace, C. A. Watson, and M. Wood. 2004. The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production - A review. *Crit. Rev. Plant Sci.* 23: 453-479.
- Norma Mexicana NOM-FF-109-SCFI-2007 (Norma Oficial Mexicana 2007). 2008. Humus de lombriz (lombricomposta): Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Norma Mexicana NOM-159-SEMARNAT-2011 (Norma Oficial Mexicana 2011). 2012. Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Paradelo, R., A. B. Moldes., B. Prieto, R. G. Sandu, and M. T. Barral. 2010. Can stability and maturity be evaluated in finished composts from different sources? *Compost Sci. Util.* 18: 22-31.
- Röben, E. 2002. Manual de compostaje para municipios. DED/Ilustre Municipalidad de Loja. Loja, Ecuador.
- Rojas A., C., R. Orellano, E. Sotomayor y M. T. Varnero. 2005. Fitotoxicidad de extractos de residuos orgánicos y su efecto sobre el índice de germinación de rabanito y pepino. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 5: 61-66.
- Tiquia, S. M. 2000. Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig-on-litter system. pp. 625-647. *In*: P. R. Warman and B.R. Taylor (eds.). Proceedings of the International Composting Symposium (ICS'99) Vols 1 and 2. Nova Scotia, Canada.
- Varnero, M. T., C. Rojas y R. Orellana. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. Veg.* 7: 28-37.
- Verdonck, O. 1998. Compost specifications. *Acta Hort.* 469: 169-178.
- Zubillaga, M. S and R. S. Lavado. 2006. Phytotoxicity of biosolids compost at different degrees of maturity compared to biosolids and animal manures. *Compost Sci. Util.* 14: 267-270.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte, and M. de Bertoli. 1981. Evaluations toxicity in immature compost. *BioCycle* 22: 54-57.