

HORTICULTURA

Comparación de bioensayos con especies hortícolas para la evaluación de la madurez de compost derivados de residuos sólidos municipales

G. Rivero¹; R. Galizio¹; A. Mugnolo²; S. Mestelan³ y L. Lett¹

¹Laboratorio Integrado de Microbiología Agrícola y Alimentos (LIMaYA) - CIISAS - Facultad de Agronomía, UNCPBA. ²Planta Procesadora de Residuos Sólidos Urbanos Tapalim. Tapalqué, Buenos Aires, Argentina. ³Laboratorio de de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía (LASFA) - CRESCA - UNCPBA. Av. República de Italia 780 (7300) Azul, Buenos Aires, Argentina. linalett@hotmail.com

Recibido: 20/12/13

Aceptado: 13/9/16

Resumen

Rivero, G.; Galizio, R.; Mugnolo, A.; Mestelan, S. y Lett, L. 2015. Comparación de bioensayos con especies hortícolas para la evaluación de la madurez de compost derivados de residuos sólidos municipales. *Horticultura Argentina* 34(85): 5-13.

Para evaluar la madurez de un vermicompuesto obtenido por un proceso de compostado de residuos sólidos municipales biodegradables, se estudiaron los efectos fitotóxicos con dos bioensayos. Uno de ellos estudió la sensibilidad de las semillas de lechuga (*Lactuca sativa* cv. Criolla), rabanito (*Raphanus sativus* cv. Punta blanca) y tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Platense) expuestos a un extracto acuoso de compost (1:5, p/p). El otro ensayo consideró parámetros de emergencia y crecimiento de las mencionadas especies cultivadas en macetas con diferentes mezclas vermicompuesto:suelo. Adicionalmente, se cuantificaron parámetros fisicoquímicos para caracterizar la madurez de los extractos y el vermicompuesto, y la estabilidad de este último. En el primer bioensayo se determinó el porcentaje relativo de germinación (PRG), el cre-

cimiento relativo de la radícula (CRR) y el índice de germinación (IG) de las tres especies. La lechuga y el tomate resultaron más sensibles que el rabanito a los compuestos fitotóxicos en el extracto acuoso, siendo la lechuga la más afectada. En las mezclas en macetas se midió el PRG, el retardo en la emergencia y la materia seca de la parte aérea y radical de las plántulas. En este último bioensayo la germinación y el crecimiento del tomate y el rabanito se afectaron negativamente, mientras que no se observaron efectos perjudiciales en lechuga. Los parámetros fisicoquímicos de los extractos y de las macetas indicaron alta salinidad y niveles de nitratos, pH cercano a la neutralidad y adecuada provisión de P, mientras que se encontró amonio en cantidades tóxicas en las mezclas sólidas. El comportamiento diferencial de las especies hortícolas bioensayadas podría estar explicado por las interacciones semilla-matriz.

Palabras clave adicionales: vermicompuesto, sustrato orgánico, estabilidad, fitotoxicidad, indicadores biológicos, matriz.

Abstract

Rivero, G.; Galizio, R.; Mugnolo, A.; Mestelan, S. and Lett, L. 2015. Comparison of bioassays with vegetables for compost maturity evaluation from municipal solid wastes. *Horticultura Argentina* 34(85): 5-13.

To assess the maturity of vermicompost obtained by composting of biodegradable municipal solid wastes, phytotoxic effects were studied with two bioassays. One studied the sensitivity of lettuce (*Lactuca sativa* cv. Criolla), radish (*Raphanus sativus* cv. Punta blanca) and tomato (*Solanum lycopersicum* cv. Platense) seeds after the extraction of the organic substrate with deionized water (1:5, w/w). The other tested emergence and growth parameters of the above mentioned species cultivated in pots with different mixtures of vermicompost:soil. In addition, physicochemical parameters were quantified to characterize the maturity of the extracts and vermicompost and the stability of the solid matrix. The first bioassay was conducted to determine relative germination percen-

tage (PRG), relative growth of radicle (CRR) and germination index (IG) of all the species. Lettuce and tomato were more sensitive than radish to phytotoxic compounds in the aqueous matrix, lettuce being the most affected. The PRG, the delay in emergence and aerial and root dry matter of seedlings were measured in the pot mixtures. In the latter, the germination and growth of tomato and radish were negatively affected, while no harmful effects were observed in lettuce. The physicochemical parameters in the extracts and the pots indicated high salinity and nitrate levels, pH near neutrality and adequate supply of P, while ammonium toxic amounts were found in the solid mixtures. The differential behavior of the studied vegetable species could be explained by seed-matrix interactions.

Additional keywords: vermicompost, organic substrate, stability, phytotoxicity, biological indicators, matrix.

1. Introducción

El vermicompostaje es un proceso biológico que se desarrolla por la actividad metabólica de microorganismos y lombrices sobre materiales de naturaleza

orgánica. Como resultado del mismo se producen cambios químicos, físicos y biológicos del sustrato orgánico (Iglesias-Jiménez & Pérez-García, 1989), hasta llegar a la formación de moléculas polimerizadas de naturaleza húmica (Defrieri *et al.*, 2005). El vermi-

compuesto posee propiedades beneficiosas que permiten su uso como enmienda orgánica en la producción hortícola (Tiquia *et al.*, 1996; Brewer & Sullivan, 2003; Cooperband *et al.*, 2003). Sin embargo, antes de su aplicación, es importante conocer el estado de madurez y la estabilidad del mismo, para evitar de esta forma, daños en los cultivos debido a la presencia de metabolitos con efecto fitotóxico (Keener *et al.*, 2000; Zubillaga *et al.*, 2008).

Según diversos autores, la aplicación de un producto inmaduro al suelo provoca efectos negativos sobre la germinación de las semillas y el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Se ha encontrado que un sustrato orgánico inestable aplicado al suelo induce a una alta actividad microbiana, lo que reduce la concentración de oxígeno, inmoviliza el nitrógeno disponible (Zucconi *et al.*, 1981a; Keener *et al.*, 2000), e incorpora compuestos fitotóxicos en diferentes concentraciones (Tam & Tiquia, 1994; Keener *et al.*, 2000). En los compost, producto de residuos orgánicos domiciliarios, el efecto fitotóxico estaría asociado, entre otros, a una elevada salinidad, debido al contenido de iones de naturaleza inorgánica u orgánica (Keener *et al.*, 2000; Majlessi *et al.*, 2012; Mestelan *et al.*, 2012; Rivero, 2013). Asimismo, concentraciones elevadas de amonio, un desbalance en la relación amonio/nitrato, y la presencia de compuestos orgánicos de bajo peso molecular con actividad inhibitoria configurarían otros aspectos para evaluar de fitotoxicidad de estos compost (Varnero *et al.*, 2007; Mazzarino *et al.*, 2012). Por otra parte, la utilización de materiales orgánicos no estabilizados agregados al suelo no solo afecta a los cultivos, sino que también perturba al medio ambiente (Butler *et al.*, 2001).

El estudio de la fitotoxicidad de un sustrato se puede realizar mediante un análisis químico que permite detectar las sustancias responsables, o bien emplear bioensayos en plantas potencialmente sensibles. Los primeros se realizan en laboratorios especializados, con instrumental específico y son de alto costo; en cambio, los ensayos con especies indicadoras pueden ser realizados en pocos días y no requieren de equipamiento costoso. En este último caso, las especies vegetales hortícolas han demostrado ser particularmente

sensibles para ponderar el efecto de una sustancia tóxica, ya sea midiendo la inhibición o el retardo de la germinación, o bien el efecto sobre la elongación de la radícula (Zucconi *et al.*, 1981a; Zucconi *et al.*, 1981b; Sobrero & Ronco, 2004).

Actualmente no hay consenso sobre los métodos más adecuados para evaluar la fitotoxicidad de un compost (García-Gil *et al.*, 2003; Varnero *et al.*, 2007; Mazzarino *et al.*, 2012). Por un lado, se puede mencionar la prueba original de Zucconi *et al.* (1981a, 1981b) que se basa en el cálculo del índice de germinación (IG) de semillas del berro de agua (*Lepidium sativum*) como especie indicadora, y tiene en cuenta el porcentaje relativo de germinación (PRG) y el crecimiento relativo de la radícula. Por otro lado, el método establecido en la Norma Chilena Oficial de Compost (INN, 2004) utiliza semillas de rabanito (*Raphanus sativus*) y solo analiza el porcentaje de germinación (%G). Si bien, ambos métodos coinciden en ensayar extractos acuosos de compost, difieren en las especies sensibles a ensayar, y en las variables y los criterios de evaluación a tener en consideración.

Otra alternativa para evaluar la fitotoxicidad con bioensayos es utilizar pequeños contenedores que maximizan el efecto del contacto del producto con las semillas. En las macetas se incorpora el compost en mezclas con diferentes sustratos, y luego de un corto período de tiempo se determinan los parámetros de crecimiento y desarrollo de las especies sensibles (Mazzarino *et al.*, 2012). Este método tiene la ventaja de permitir el análisis de la fitotoxicidad del compost en combinación con el suelo de interés, pero requiere de un período más largo de tiempo para el crecimiento de las plántulas.

Todo lo expuesto indica que los dos tipos de bioensayos procuran inferir acerca de la fitotoxicidad de un compost a partir del comportamiento de plantas sensibles en matrices de distinta naturaleza. En consecuencia, el análisis de una misma especie debería converger en resultados que permitan evaluar la madurez de un compost.

En el presente trabajo se evaluó el estado de madurez de un vermicompuesto con semillas de tomate, rabanito y lechuga como especies indicadoras en con-

Tabla 1. Características químicas y disponibilidad de nutrientes en diferentes lotes de extractos acuosos (1:5) de vermicompuesto empleados en el primer experimento de fitotoxicidad.

Extracto	CE (dS·m ⁻¹)	pH	C soluble ^z (mg·L ⁻¹)	N-NO ₃ ⁻ (mg N·L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ (mg N·L ⁻¹)	N-NH ₄ ⁺ / N-NO ₃ ⁻	P disponible (mg P·L ⁻¹)
Extracto 1	2,13 (± 0,05) ^y	7,05 (± 0,05)	6000 (± 0,01)	328,0 (± 23,0)	5,33 (± 1,27)	0,016 (± 0,005)	33,06 (± 6,5)
Extracto 2	2,18 (± 0,06)	7,13 (± 0,06)	5500 (± 0,01)	308,0 (± 17,0)	5,24 (± 1,03)	0,017 (± 0,006)	40,22 (± 4,7)

^zEstos valores en los extractos equivalen a 24,0 y 21,0 g·kg⁻¹ de vermicompuesto. ^yLos valores entre paréntesis indican ± 1 desvío estándar.

tacto con extractos acuosos o mezclas con suelo en macetas. El vermicompuesto analizado se desarrolló a partir de residuos sólidos orgánicos domiciliarios municipales en pilas dinámicas con control de humedad y un proceso de maduración o curado en una trinchera con el agregado de lombrices californianas (Rivero *et al.*, 2010; Mestelan *et al.*, 2012; Rivero, 2013).

2. Materiales y métodos

2.1. Producción del vermicompuesto (VC)

El proceso de producción se realizó en la planta de tratamientos de residuos sólidos urbanos (RSU) "Tapalim", perteneciente al Municipio de Tapalqué (36° 21' 00" S; 60° 01' 00" O), Provincia de Buenos Aires, Argentina. En ésta se separaron y seleccionaron los residuos sólidos urbanos y comerciales hasta obtener una fracción orgánica de naturaleza mayoritariamente alimentaria pasible de ser utilizada en el desarrollo de un proceso de compostaje (Rivero *et al.*, 2010; Mestelan *et al.*, 2012). Posteriormente, los residuos se transportaron a un playón de concreto y se acondicionaron en pilas con volteos periódicos, control de humedad y registro térmico para cumplir con un proceso de compostaje aeróbico con una fase térmica (Mestelan *et al.*, 2012) que garantizó la inocuidad del producto (Rivero *et al.*, 2010; Rivero, 2013). Luego de 90 a 120 días el material remanente se acondicionó para la acción de las lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*). Allí permaneció en una etapa de curado hasta la verificación de su estado de madurez y estabilidad.

2.2. Descripción de los bioensayos

La fitotoxicidad del VC se analizó en dos bioensayos con tres especies hortícolas; a saber, tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Platense), rabanito (*Raphanus sativus* cv. Punta blanca) y lechuga (*Lactuca sativa* cv. Criolla). En una etapa previa se determinó el poder germinativo de los lotes de las semillas a utilizar colocando 200 semillas en cuatro bandejas sobre la superficie de un papel Valot® humedecido con agua destilada. Las bandejas se colocaron dentro de una bolsa de nylon cerrada para evitar la pérdida de humedad. Las condiciones de tiempo y temperatura utilizadas para la determinación del poder germinativo de cada especie fue la establecida en las normas de la *International Seed Testing Association* (ISTA, 2003). Los lotes que no cumplieron con los requisitos de germinación requeridos no fueron utilizados en la implementación de los ensayos de fitotoxicidad (Sobrero & Ronco, 2004).

El extracto acuoso se preparó en una proporción 1:5, p/p con agua desionizada. Luego de una homogeneización con agitador mecánico de 180 golpes por minuto por un período de 20 min, se filtró con bomba de vacío sobre papel de filtro cuantitativo rápido y el extracto se recogió en un kitasato. El producto acuoso obtenido se fraccionó y congeló hasta su posterior utilización.

2.2.1 Bioensayo con extracto acuoso de vermicompuesto (VC)

Para la caracterización del extracto de VC se procedió a cuantificar el pH y la conductividad eléctrica (SAMPLA, 2004). El C soluble se cuantificó sobre los extractos (Walkley & Black, 1934; modificada según Tortosa Muñoz, 2007). Asimismo se determinaron N total (método Kjeldahl; SAMPLA, 2004), N-nitratos por reflectometría (Wetselaar *et al.*, 1998) y N-amonio por destilación por arrastre de vapor (Bremner & Keeney, 1966). Adicionalmente, se calculó el índice N-amonio/N-nitratos como un indicador de fitotoxicidad

La fitotoxicidad del VC se analizó en dos bioensayos con tres especies hortícolas; a saber, tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Platense), rabanito (*Raphanus sativus* cv. Punta blanca) y lechuga (*Lactuca sativa* cv. Criolla). En una etapa previa se determinó el poder germinativo de los lotes de las semillas a utilizar colocando 200 semillas en cuatro bandejas sobre la superficie de un papel Valot® humedecido con agua destilada. Las bandejas se colocaron dentro de una bolsa de nylon cerrada para evitar la pérdida de humedad. Las condiciones de tiempo y temperatura utilizadas para la determinación del poder germinativo de cada especie fue la establecida en las normas de la *International Seed Testing Association* (ISTA, 2003). Los lotes que no cumplieron con los requisitos de germinación requeridos no fueron utilizados en la implementación de los ensayos de fitotoxicidad (Sobrero & Ronco, 2004).

Tabla 2. Indicadores e índices de estabilidad y madurez y disponibilidad de P de las cuatro concentraciones de sustrato ensayadas. Vermicompuesto (VC), suelo (S) y mezclas vermicompuesto y suelo (p/p).

Sustrato	100 % S	50 % VC - 50 % S	25 % VC - 75 % S	100 % VC
CE (dS·m ⁻¹)	0,78 (± 0,02) ²	2,25 (± 0,07)	1,59 (± 0,05)	4,21 (± 0,12)
pH (agua; 1:5)	6,25 (± 0,03)	6,85 (± 0,05)	6,61 (± 0,05)	6,49 (± 0,04)
MO (g·kg ⁻¹)	42,5 (± 2,5)	88,6 (± 6,5)	66,7 (± 3,3)	136,5 (± 6,5)
NT (g·kg ⁻¹)	2,02 (± 0,10)	4,01 (± 0,18)	2,83 (± 0,14)	10,12 (± 2,5)
N-NO ₃ ⁻ (mg·kg ⁻¹)	46,7 (± 3,5)	491,6 (± 16,5)	116,9 (± 6,0)	1.083,8 (± 34,5)
N-NH ₄ ⁺ (mg·kg ⁻¹)	7,37 (± 0,7)	506,7 (± 6,5)	67,32 (± 3,5)	1.527,7 (± 53,39)
N-NH ₄ ⁺ / N-NO ₃ ⁻	0,16 (± 0,006)	1,03 (± 0,01)	0,58 (± 0,008)	1,41 (± 0,01)
C:N	12,2 (± 0,02)	12,8 (± 0,02)	13,7 (± 0,05)	7,8 (± 0,4)
P disponible (mg·kg ⁻¹)	52 (± 2,5)	375 (± 50)	215 (± 15)	741 (± 53)

²Los valores entre paréntesis indican ± 1 desvío estándar.

o madurez, y se cuantificó el P disponible por el método de Bray & Kurtz, 1945, para caracterizar la provisión de este nutriente a través de los extractos. Los análisis fisicoquímicos antes mencionados se realizaron por duplicado para cada extracto.

Para medir las variables de germinación se utilizó la técnica descrita por Zucconi *et al.* (1981a, 1981b) con algunas modificaciones. Para ello, se colocaron 10 semillas en seis cajas de Petri de 9,5 cm de diámetro sobre un soporte de algodón cubierto con un papel de filtro humedecido con 10 mL del extracto a ensayar. Como control se preparó un tratamiento con 10 mL de agua destilada estéril para cada especie. Las cajas se incubaron en cámaras de germinación el tiempo y a la temperatura requerida según las normas ISTA (2003). Las variables evaluadas fueron el número de semillas germinadas y la longitud de las radículas. Con los datos obtenidos respecto del control se calcularon las siguientes variables: porcentaje relativo de germinación (PRG), crecimiento relativo de la radícula (CRR) e índice de germinación (IG) como una integración de los anteriores según la siguiente fórmula: $IG = (PRG \times CRR)/100$.

La metodología descrita se ensayó por triplicado y se calculó el coeficiente de variación (CV%) mediante el programa estadístico InfoStat, versión 2013 (Di Rienzo *et al.*, 2013).

2.2.2 Bioensayo en macetas con mezclas vermicompuesto:suelo (VC:S)

El experimento de fitotoxicidad se realizó con cuatro concentraciones distintas de sustrato. Las mezclas utilizadas fueron a: Suelo control (100 % S), 25 % VC: 75 % S, 50 % VC:50 % S y 100 % VC:0 % S, en adelante 100 % S; 25 % VC:75 % S; 50 % VC:50 % S y 100 % VC, respectivamente. Estos niveles de mezcla se probaron a través de bioensayos independientes con las tres especies anteriormente mencionadas. Para ello, se sembraron cinco semillas en seis macetas de 600 cm³ de capacidad y para cada concentración de sus-

trato. Las macetas se mantuvieron en una cámara de crecimiento a la temperatura óptima de 28 ± 2 °C para rabanito y tomate y 21 ± 2 °C para lechuga. La temperatura se controló mediante un Datalogger (Schwyz Dat-10). La humedad se mantuvo al 50 % de la capacidad de retención hasta la finalización de los ensayos, donde las macetas se descalzaron cuidadosamente y las plántulas se lavaron y separaron de los sustratos. Se empleó un fotoperíodo de 16 h luz y 8 h oscuridad para el tomate y el rabanito, mientras que para la lechuga fue de 14 h luz y 10 h oscuridad. El tiempo total de desarrollo y crecimiento fue 28 días para lechuga y tomate y 19 días para rabanito.

Para cada ensayo se midieron las siguientes variables: A) días desde la siembra hasta la emergencia; B) porcentaje de germinación; y C) peso seco aéreo, peso seco de raíces y el peso seco total. Las mismas se evaluaron estadísticamente con un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) con seis repeticiones de cinco submuestras cada una. Las variables con respuestas significativas ($P \leq 0,05$) se compararon mediante la prueba de la mínima diferencia significativa (MDS) con $\alpha = 0,05$ (Steel & Torrie, 1996). La ejecución de los análisis estadísticos se efectuó con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2011).

Los diversos indicadores e índices de estabilidad de los sustratos se ensayaron sobre muestras secadas al aire y por duplicado. Se cuantificó materia orgánica por digestión húmeda (Walkley & Black, 1934), y luego los parámetros vinculados al N como N total (NT) (método Kjeldahl, a escala semimicro; SAMLA, 2004), N-NO₃⁻ (Wetselaar *et al.*, 1998) y N-NH₄⁺ (Bremner & Keeney, 1966) sobre extractos en KCL al 2 % y 1N, respectivamente. La relación C:N de los sustratos se calculó en función del contenido total de ambos elementos. El pH y la conductividad eléctrica se determinaron sobre extractos 1:5 en agua (SAMLA, 2004). El C soluble se cuantificó sobre extractos 1:20 en agua (Tortosa Muñoz, 2007). Posteriormente se procedió a calcular el índice N-NH₄⁺/N-NO₃⁻ como un

indicador de fitotoxicidad o madurez, y se cuantificó el P disponible según el método Bray I (Bray & Kurtz, 1945).

Tabla 3. Efecto del extracto de vermicompuesto (1:5 p/p) sobre el porcentaje relativo de germinación (PRG%), el crecimiento relativo de la radícula (CRR%) y el índice de germinación (IG%) en semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Platense), rabanito (*Raphanus sativus* cv. Punta blanca) y lechuga (*Lactuca sativa* cv. Criolla).

	Tomate		Rabanito		Lechuga	
	Promedio	CV% ^z	Promedio	CV% ^z	Promedio	CV% ^z
PRG (%)	63,67	16,33	102	2,43	48,0	4,16
CRR (%)	77,33	14,83	113	6,89	43,5	19,54
IG (%)	48,33	11,94	116	12,66	21,0	33,67

^zCV%: Coeficiente de variación en porcentaje, calculado a partir de tres experimentos independientes.

3. Resultados y discusión

Los valores obtenidos para los bioensayos con extracto acuoso de compost indicaron diferencias

entre las tres especies hortícolas ensayadas (Tabla 3). Según el criterio establecido por la Norma Chilena de Compost (INN, 2004; Varnero *et al.*, 2007), el rabanito, especie indicador según la norma, exhibió un valor de PRG superior al 80 %, lo que definiría al vermicompuesto como un sustrato orgánico maduro. Sin embargo, tanto el tomate como la lechuga presentaron valores inferiores al establecido con reducciones del 16 % y 32 % del PRG respectivamente, indicando que el vermicompuesto no ha completado su etapa de curado, y tendría sustancias fitotóxicas que aún no han sido metabolizadas o eliminadas.

Esta contradicción entre el comportamiento de la especie indicadora (rabanito) y el tomate y la lechuga se vio reforzada mediante el análisis de los valores obtenidos para CRR, donde nuevamente la lechuga presentó la mayor reducción en relación al valor de referencia (Tabla 3). Este efecto con la lechuga podría estar asociado a la presencia de metabolitos fitotóxicos en concentraciones moderadas que no limitaron severamente la germinación de las semillas pero que afectaron la longitud radical, tal como fue observado en diferentes experimentos por Zucconi *et al.* (1981a), Sobrero & Ronco (2004), Varnero *et al.* (2007) y Himanen (2013). En concordancia con estas respuestas, el valor integrado del índice de germinación (IG) propuesto por Zucconi *et al.* (1981a), reveló que solamente la lechuga y el tomate presentaron sensibilidad para detectar la presencia de materiales fitotóxicos, con reducciones relativas del 60 % y del 32 % para las mencionadas especies con respecto al valor índice del 80 % (Tabla 3). La mayor sensibilidad de las semillas de lechuga respecto de las de rabanito se observó también por Varnero *et al.* (2007) cuando se analizó el proceso de maduración de residuos agroindustriales en bioensayos con extractos.

La composición fisicoquímica de los extractos acuosos (Tabla 1) reveló la presencia de niveles moderados de sales, que podrían resultar perjudiciales para procesos como la germinación o las primeras etapas de crecimiento de plantas sensibles para el tomate y la lechuga (Keener *et al.*, 2000; Majlessi *et al.*, 2012). Shannon & Grieve (1999) comunicaron valores umbral de conductividad eléctrica en extractos del orden de 1,3 dS·m⁻¹ con menoscabo de la germinación y crecimiento de la lechuga, mientras que los extractos acuosos de vermicompuesto en el presente trabajo superaron estos niveles (Tabla 1). Según estos autores, la sensibilidad fue variable entre cultivares de lechuga y la tolerancia a la salinidad se incrementó con la edad de las plantas. Para el rabanito, si bien se cita el mismo umbral de conductividad eléctrica requerido para afectar la germinación y el crecimiento de las plántulas de

lechuga (1,3 dS·m⁻¹), esta especie no se vio afectada por los valores encontrados por encima de este umbral. En cambio, el tomate resultó más tolerante a la conductividad eléctrica (Tabla 3), en coincidencia con el valor umbral 2,0 dS·m⁻¹ reportado para tomate cv. Platense por Clozza (2010) empleado en una solución nutritiva.

Asimismo, se hallaron niveles altos de N-NO₃⁻ en los extractos (Tabla 1). Los valores encontrados en este estudio contribuyeron a la salinidad, como así también a generar un desbalance en la provisión de N. En este sentido, los ensayos de Tian *et al.* (2003) comunicaron la necesidad de un valor de 0,5 para el balance de N-NH₄⁺/N-NO₃⁻ para una nutrición nitrogenada equilibrada de la lechuga en estadios tempranos de crecimiento. Por otro lado, las cantidades de N-NH₄⁺ encontradas en los extractos (Tabla 1) no significaron *per se* efecto fitotóxico (Britto & Kronzucker, 2002; Mazzarino *et al.*, 2012).

Adicionalmente, las formas solubles del C señala-

Tabla 4. Respuesta en crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* cv. Platense), rabanito (*Raphanus sativus* cv. Punta Blanca) y lechuga (*Lactuca sativa* cv. Criolla) criadas en macetas con diferentes mezclas de vermicompuesto (VC) y suelo (S).

TOMATE	Peso seco (mg·planta ⁻¹)		
	Aéreo	Radical	Total
100 % VC	79,1 c ^z	27,1 b	106,2 c
50 % VC - 50 % S	140,2 b	28,1 ab	168,3 b
25 % VC - 75 % S	116,4 b	38,3 ab	155,7 b
100 % S	180,5 a	64,4 a	244,9 a
P =	0,0001	0,0236	0,0001

RABANITO	Peso seco (mg·planta ⁻¹)		
	Aéreo	Radical	Total
100 % VC	10,3 c	3,2 b	13,5 c
50 % VC - 50 % S	41,3 b	15,8 a	57,1 b
25 % VC - 75 % S	35,5 b	20,4 a	55,9 b
100 % S	57,1 a	16,4 a	73,5 a
P =	0,0001	0,0087	0,0001

LECHUGA	Peso seco (mg·planta ⁻¹)		
	Aéreo	Radical	Total
100 % VC	64,4	34,5	98,9
50 % VC - 50 % S	91,2	58,2	149,4
25 % VC - 75 % S	71,9	61,0	132,9
100 % S	76,9	45,6	122,5
P =	0,1303	0,0913	0,1450

^zDiferentes letras indican diferencias significativas (P ≤ 0,05).

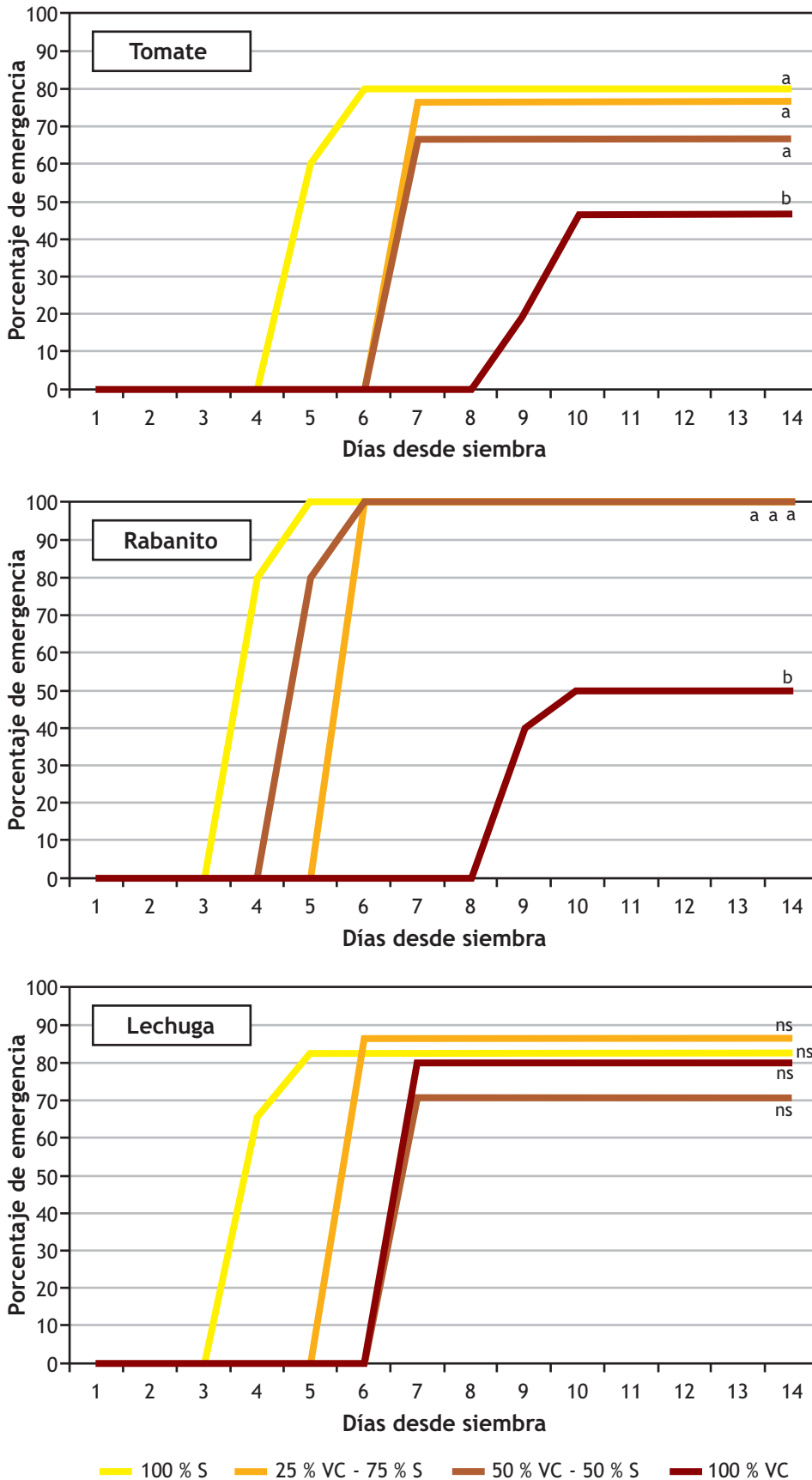


Figura 1. Porcentaje de emergencia acumulada en semillas de tomate, rabanito y lechuga en el vermicompuesto (VC) y sus diferentes mezclas (p/p) con el suelo (S). Diferentes letras indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$); ns: diferencias no significativas.

das por Himanen (2013) como compuestos de bajo peso molecular y baja complejidad estructural se encontraron asociadas a actividad fitotóxica. Diversos estudios citados por Mazzarino *et al.* (2012) describen umbrales (entre 4 y 17 g·kg⁻¹ de C soluble) para mostrar fitotoxicidad, valores que se superaron en los extractos estudiados (Tabla 1). Si bien estos valores podrían haber contribuido también al aumento de la conductividad eléctrica, estarían más relacionados a la estabilidad del vermicompuesto que a su madurez (Majlessi *et al.*, 2012).

En referencia al análisis del pH en la misma matriz, se registraron valores cercanos a la neutralidad adecuados para la germinación y el crecimiento de la mayoría de las especies (Tabla 1); lo cual se desvía del rango óptimo para la germinación del tomate en medio acuoso (5,5 a 6,8).

Respecto del bioensayo en macetas, la Figura 1 muestra el comportamiento del porcentaje de emergencia de plántulas encontrado con las mezclas vermicompuesto-suelo para las tres especies evaluadas. Las semillas de tomate y rabanito exhibieron una reducción significativa de la emergencia en contacto con la máxima concentración del vermicompuesto (100 % VC) y adicionalmente, se observó un retraso respecto a 100 % S de 4 y 5 días, res-

pectivamente. La dilución intermedia (50 % VC:50 % S) generó un retardo de 2 días en la emergencia de plántulas en el tomate y 1 día de retraso en el rabanito. En el caso de la lechuga el porcentaje de emergencia no se vio afectado por el agregado de vermicompuesto al suelo, aunque se verificaron 3 días de retraso de la emergencia para las mayores concentraciones de sustrato orgánico.

Asimismo, los parámetros de crecimiento mostraron también diferentes respuestas según la especie de planta evaluada (Tabla 4). El tomate y el rabanito evidenciaron significativos efectos de inhibición en el peso seco de parte aérea y total. Para las mencionadas especies el peso seco radical sólo fue significativamente diferente entre el 100 % S y el 100 % VC. En cambio la lechuga, la especie que exhibió el mayor efecto de fitotoxicidad sobre los extractos acuosos del vermicompuesto, no presentó un comportamiento negativo sobre su biomasa total o sus componentes, sino por el contrario, exhibió una promoción no significativa de los parámetros de crecimiento con el agregado del vermicompuesto en las concentraciones intermedias (25 % VC:75 % S y 50 % VC:50 % S).

La composición fisicoquímica de los sustratos puros y sus mezclas permitió explicar el comportamiento en la germinación y crecimiento de las especies consideradas (Tabla 2), donde se observó que a partir de mezclas con 50 % VC se detectaron niveles fitotóxicos de $N-NH_4^+$ (Mazzarino *et al.*, 2012). Para las especies utilizadas en estos bioensayos, la revisión de Britto & Kronzucker (2002) reporta alta sensibilidad del tomate para amonio, seguido por el rabanito. Las mezclas presentes en las macetas muestran a su vez una relación $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ diez veces más elevada que los extractos acuosos (Tablas 2 y 1, respectivamente), lo cual podría explicar la promoción en crecimiento observada para la lechuga (Britto & Kronzucker, 2002; Tian *et al.*, 2003) apoyada en un balance de las formas de N más favorable en las mezclas en macetas. Si bien se observaron valores moderados a altos de salinidad en el vermicompuesto puro o sus mezclas, el tiempo de exposición de la lechuga a estos sustratos en las macetas permitiría un proceso de adaptación al estrés osmótico. Adicionalmente, tal y como sugieren Shannon & Grieve (1999), los cambios ontogénicos en lechuga estarían ligados a una mayor tolerancia a la salinidad en las macetas.

Las mezclas en macetas tuvieron un pH adecuado y buenos niveles de P disponible (Tabla 2). Por último, la relación C:N obtenida para cada una de las mezclas indicaría que el vermicompuesto evaluado no ocasionaría problemas de inmovilización de nitrógeno (Brady & Weil, 2003).

4. Conclusiones

La evaluación de la madurez del vermicompuesto mostró resultados dependientes de la técnica de bioensayo empleada, dado que se registraron resultados disímiles para una misma especie según la matriz de ensayo. Para el extracto acuoso, la lechuga y, en segundo lugar, el tomate resultaron más sensibles, mientras que para el ensayo en la matriz sólida con mezclas de VC:S tanto el tomate como el rabanito resultaron igualmente sensibles. De todos los indicadores e índices de estabilidad y madurez determinados en el vermicompuesto de residuos sólidos urbanos, la conductividad eléctrica (salinidad), el pH, el contenido de NNH_4^+ y la relación $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ revelaron diferencias de matrices con efecto sobre la respuesta vegetal. Si bien una mayor exposición del residuo a la acción directa de las lombrices permite favorecer la tasa de mineralización de carbono y de nitrógeno del residuo compostado, el uso de vermicompuestos de esta naturaleza como sustrato para el crecimiento de especies hortícolas demandaría correcciones. El uso de vermicompuestos de esta naturaleza como sustrato para el crecimiento de especies hortícolas demandaría correcciones.

5. Agradecimientos

El presente trabajo se enmarcó en un convenio entre el Municipio de Tapalqué y la UNCPBA a través de los laboratorios LIMAYa y LASFA de la Facultad de Agronomía (OCS N° 3529/2009), y fue subsidiado por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC PBA).

6. Bibliografía

- Brady, N.C. & Weil, R.R. 2003. The nature and properties of soils. 13th Ed. Prentice Hall. 960 p.
- Bray, R.H. & Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science*. 59: 39-45.
- Bremner, J.M. & Keeney, D.R. 1966. Determination and isotope-ratio and analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Journal*. 30: 577-582.
- Brewer, L.J. & Sullivan, D.M. 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. *Compost Science & Utilization*, 11: 96-112.

- Britto, D.T. & Kronzucker, H. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*. 159. 567-584.
- Butler, T.A.; Sikora, L.J.; Steinhilber, P.M. & Douglass, L.W. 2001. Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost. *Journal of Environmental Quality*, 30: 2141-2148.
- Clozza, M.N. 2010. Crecimiento y desarrollo en tomate Platense (*Lycopersicon esculentum* Mill.): análisis del efecto de la nutrición mineral. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Valencia. España, 103 p.
- Cooperband, L.R.; Stone, A.G.; Fryda, M.R. & Ravet, J.L. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Science and Utilization*, 11: 113-124.
- Defrieri, R.L.; Jimenez, M.P.; Effron, D. & Palma, M. 2005. Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *Agriscientia*, 2005, XXII (1): 25-31.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- García-Gil, J.C.; Sanchez de Pinto, M.I & Polo, A. 2003. Métodos de determinación del grado de madurez y estabilidad en compost de residuos urbanos. En: *Microbiología agrícola. Un aporte a la investigación argentina*. 1a ed., Universidad Nacional de Santiago del Estero. p. 241-251 (Albanesi, A.; Anriquez, A.; Luna, S.; Kunst, C. & Ledesma, R. ed).
- Himanen, M. 2013. Role of Low-weight Carboxylic Acids in Phytotoxicity of Composts. Ph. D. dissertation, Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science University of Jyväskylä, 79 p.
- Iglesias-Jiménez, E. & Perez-García, V. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. *Biological waste*. 27: 115-142.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2004. Norma chilena de compost 2880-2004 (NCh 2880-2004). Compost-Clasificación y Requisitos, Chile: 23 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2003. Handbook on Seedling Evaluation. 3rd Edition.
- Keener, H.M.; Dick, W.A.; Hoitink, H.A.J. 2000. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. In: *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*. Vol. 6, p. 315-341 (Power, J.F. & Dick, W.A. ed).
- Majlessi, M.; Eslami, A.; Saleh, H.N.; Mirshafieean, S. & Babaii, S. 2012. Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering* 2012, 9:25 doi:10.1186/1735-2746-9-25. Disponible en: <http://www.ijehse.com/content/9/1/25>. (Consultado el 1 de diciembre de 2013).
- Mazzarino, M.J.; Satti, P. & Roselli, L. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Universidad Nacional de Río Negro-Orientación Gráfica Editora. 1a ed, p. 13-26. (Mazzarino, M.J. & Satti, P. ed).
- Mestelan, S.; Lett, L.; Rivero, G.; Mugnolo, A.; Alonso, A. & Portela, G. 2012. Caracterización del proceso de compostado en pilas dinámicas de residuos sólidos orgánicos urbanos. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Trabajo completo (6 pp) en CD-Rom. ISBN 978-987-1829-11-8.
- Rivero, G.; Alonso, A.; Mugnolo, A.; Portela, G.; Mestelan, S. & Lett, L. 2010. Evaluación del proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos domiciliarios. La experiencia del Municipio de Tapalqué. *Revista Argentina de Microbiología*. Supl. 1 Vol. 42, p. 141.
- Rivero, G. 2013. Compostaje de residuos orgánicos de origen alimentario. Inocuidad y valoración del producto final. Tesis (licenciatura). Facultad Agronomía Azul (UNICEN). Azul, Buenos Aires, Argentina. 111 p.
- SAMLA (Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos). 2004. Manual de técnicas de laboratorio. Editado por SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola. CD-rom. Buenos Aires, Argentina.
- Shannon, M.C. & Grieve, C.M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 5-38.
- Sobrero, M.C. & Ronco, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga *Lactuca sativa* L. En: *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas*. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. IDRC, IMTA, Canadá. p. 55-57 (Castillo, G. ed).
- Tam, N.F.Y. & Tiquia, S.M. 1994. Assessing toxicity of spent sawdust pig-litter using seed germination

- technique. *Resources, Conservation and Recycling*, 11: 261-274.
- Tian, X.; Li, S.; Wang, Z.; Yiu, X. & Chen, S. 2003. Response of lettuce to different nitrogen forms. *The Journal of Applied Ecology* 14(3):377-381.
- Tiquia, S.M.; Tam, N.F.Y. & Hodgkiss, I.J. 1996. Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environmental Pollution*, 93: 249-56.
- Tortosa Muñoz, 2007. Extracción de materia orgánica soluble de un compost de orujo de oliva de dos fases. Memoria de la tesis de licenciatura en Química. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. Facultad de Química, Universidad de Murcia. 97 pp.
- Varnero, M.; Rojas, C. & Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Journal of Soil Science and Nutrition*. 7: 28-37.
- Walkley, A. & Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-38.
- Wetselaar, R.; Smith, G. & Angus, F. 1998. Field measurement of soil nitrate concentrations. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis*. 29: 729-739.
- Zubillaga, M.S.; Branzini, A. & Lavado, R.S. 2008. Problemas de Fitotoxicidad en Compost. *Revista Pilquen. Sección Agronomía*. Año X. N° 9. 9.
- Zucconi, F.; Pera, A.; Forte, M.E. & De Bertoldi, M. 1981a. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*. 22: 54-57.
- Zucconi, F.; Forte, M.; Mónaco, A. & De Bertoldi, M. 1981b. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle* 22: 27-29.