

FITOTOXICIDAD DE MATERIALES COMPOSTADOS DESTINADOS PARA USO AGRÍCOLA¹

[PHYTO-TOXICITY OF COMPOSED MATERIALS INTENDED FOR AGRICULTURAL USE]

Maritza Miguel Martínez¹, Lina Pliego Marín^{2§}, Celerino Robles³, Graciela Zárate Altamirano²

¹Tesista-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Tecnológico Nacional de México.² Ex Hacienda Nazareno s/n, Xoxocotlán, Oax., México. C.P. 71230. ³Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR Oaxaca [§]Autor para correspondencia: (linapliego@hotmail.com).

RESUMEN

El compostaje de desechos agrícolas y forestales para su aprovechamiento en la agricultura es una práctica ampliamente difundida hoy en día, siendo necesario que los productos obtenidos de esta transformación presenten madurez y estabilidad. Una forma de evaluar estos productos es determinar su fitotoxicidad. El objetivo del trabajo fue determinar la posible toxicidad de compostas utilizadas como sustrato, en la germinación de semillas de cuatro especies hortícolas. Se establecieron dos experimentos de germinación de semillas de cuatro especies hortícolas, el primero utilizando sustratos sólidos, el segundo aplicando extractos acuosos de los tratamientos. Los datos colectados cumplieron con los criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas. Se les aplicó un análisis de varianza y las medias se separaron por la prueba de Tukey ($p = 0.05$). En sustratos puros, el rábano y la lechuga con aserrín mezclado y vermicomposta sola y combinada presentaron el mayor porcentaje de germinación, mientras que el tomate fue la especie más sensible a los materiales evaluados. Los IG determinados indican que la mayoría de los sustratos acuosos presentaron nula o moderada fitotoxicidad en rábano, lechuga y tomate, en tanto que en chile en sustrato puro en las mezclas de aserrín tuvieron una toxicidad alta. El uso de materiales compostados deberá condicionarse a pruebas de fitotoxicidad en las especies vegetales a utilizar, ya que la susceptibilidad interespecífica es variable.

Palabras clave: composta, índice de germinación, porcentaje de germinación, vermicomposta.

ABSTRACT

Composting agricultural and forestry waste for its use in agriculture is a widely spread practice today, and it is necessary that the products obtained from this transformation present maturity and stability. One way to evaluate these products is to determine their phytotoxicity. The objective of the work was to determine the possible toxicity of compost used as substrate, in the germination of seeds of four horticultural species. Two seed germination experiments of four horticultural species were established, the first using solid substrates, the second applying aqueous extracts of the treatments. The data collected met the criteria of normality and homogeneity of variances. An analysis of variance was applied, and the means were separated by Tukey's test ($p = 0.05$). In pure substrates, radish and lettuce with mixed sawdust and vermicompost alone and combined presented the highest germination percentage, while tomato was the species most sensitive to the evaluated

¹ Recibido: 09-septiembre-2020
Aceptado: 20-diciembre-2020

materials. The determined GI indicate that most of the aqueous extracts presented null or moderate phytotoxicity in radish, lettuce, and tomato, while in chili in pure substrate of the sawdust mixtures they had a high toxicity. The use of composted materials should be conditioned to phytotoxicity tests in the plant species to be used, since interspecific susceptibility is variable.

Index words: compost, germination index, germination percentage, vermicompost.

INTRODUCCIÓN

Los residuos procedentes de la actividad humana en la obtención de productos agrícolas, pecuarios y forestales generan una gran acumulación de desechos que, si no se les da un manejo adecuado y seguro, impactan de manera negativa al medio ambiente. 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 *et al.*, 2009). En las últimas décadas se ha puesto mucha atención para el manejo de los desechos orgánicos por medio de procesos cuyo impacto negativo en el ambiente sea mínimo, haciendo uso de procesos ecoamigables como lo es el compostaje (Lazcano *et al.*, 2009).

Como todo proceso, el compostaje requiere el control de las condiciones que prevalecen durante el desarrollo del mismo, como son temperatura, aireación y humedad, con la finalidad de tener una adecuada descomposición y estabilización de la materia orgánica (Crojen *et al.*, 2003). Esta es la principal diferencia entre el compostaje y los procesos naturales no controlados que suelen desembocar en anaerobiosis más o menos acusadas (Bueno *et al.*, 2008).

El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos por acción combinada de lombrices y microorganismos, que aceleran el proceso de descomposición y humificación de la materia orgánica (Edwards y Arancón, 2004), bien sea por su desplazamiento a través de las galerías formadas o por el tipo de alimentación propia de la lombriz (detritívora). Las lombrices mejoran el producto final al ingerirlo, reduciendo su tamaño y formando agregados estables (Elvira *et al.*, 1998). El producto final es homogéneo y de granulometría fina y con un valor agregado (Nogales *et al.*, 2008; Suthar y Singh, 2008). Adicionalmente, estos organismos incrementan el contenido de nutrientes, convirtiéndolos a formas solubles y asimilables (Elvira *et al.*, 1998; Ndegwa y Thompson, 2001; Garg *et al.*, 2006).

Independientemente del proceso de compostaje utilizado, el uso de las compostas en agricultura deberá contar previamente con un control de la calidad. La caracterización de estos materiales debe incluir, además de las propiedades físicas y químicas, las características biológicas.

La obtención de compostas inmaduras o inestables puede deberse a condiciones anaeróbicas, liberándose compuestos que resultan tóxicos bien sea durante la germinación de la semilla o el crecimiento o desarrollo de los vegetales. La forma más efectiva para establecer si las compostas son seguras para utilizarlas con fines agrícolas, en invernadero o vivero, es determinar su fitotoxicidad. Esta evalúa la madurez y estabilidad biológica de los materiales producidos, así como la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal (Hu *et al.*, 2008; Paradelo *et al.*, 2010).

La germinación es una etapa crítica en el establecimiento de cualquier especie vegetal independientemente de las condiciones generadas para un cultivo determinado. La capacidad de

crecimiento y desarrollo de la plántula también son determinantes para el establecimiento de cualquier material vegetal y aunque ambas etapas son consecutivas en ocasiones alguna de ellas resulta ser más sensible a determinadas condiciones que prevalecen en su entorno de crecimiento.

Si bien se han establecido diferentes metodologías para determinar de la madurez y estabilidad de los materiales compostados, entre las que destacan pruebas físico-químicas, se han utilizado test de germinación de semillas o de cultivo de plantas (Zucconi *et al.*, 1981; Iannotti *et al.*, 1993; Wu *et al.*, 2000). El objetivo de este estudio fue determinar la fitotoxicidad de materiales compostados, solos o en combinación con suelo agrícola, en cuatro especies hortícolas, con la finalidad de ser usados en el cultivo del chile de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-IPN-OAX) durante el periodo marzo a diciembre del 2013. Los trabajos relacionados con la evaluación de la fitotoxicidad de los materiales compostados se realizaron en el laboratorio de suelos del CIIDIR.

Tratamientos

Los tratamientos fueron generados a partir de los sustratos: aserrín compostado, turba y vermicomposta, mezclados en diferentes proporciones con suelo agrícola, con un total de 13 tratamientos para el caso del uso de sustrato sólido y 14 cuando se utilizaron extractos acuosos, ya que se consideró un control con agua (Cuadro 1). Los tratamientos se aplicaron a semillas de las especies: rábano, lechuga, tomate y chile.

Cuadro 1. Tratamientos de materiales compostados, sólidos y extractos acuosos, aplicados para determinar sus efectos en la germinación de cuatro especies hortícolas.

Tratamiento	Descripción	Tratamiento	Descripción
1	Aserrín 100 %	8	Turba 25%+ suelo 75%
2	Aserrín 75%+ suelo 25%	9	Vermicomposta 100%
3	Aserrín 50%+ suelo 25%	10	Vermicomposta 75%+ suelo 25%
4	Aserrín 25%+ Suelo 75%	11	Vermicomposta 50%+ suelo 50%
5	Turba 100%	12	Vermicomposta 25%+ suelo 75%
6	Turba 75%+suelo 25%	13	Suelo 100% (Testigo)
7	Turba 50% + suelo 50%	14	Agua

En el caso de extractos acuosos, se obtuvo un extracto de saturación de cada uno de materiales evaluados (1:10 p/v) utilizando agua destilada como extractante, la suspensión obtenida se filtró y diluyó en una proporción de 50 % de agua destilada y 50 % del extracto obtenido.

Para establecer el nivel de fitotoxicidad de los materiales evaluados se realizaron bioensayos de germinación siguiendo el procedimiento propuesto por Zucconi *et al.* (1981), con ligeras modificaciones, utilizando semillas de rábano (*Raphanus sativus*), lechuga (*Lactuca sativa* L.), tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile de agua (*Capsicum annuum* L.). En las especies evaluadas, los ensayos de germinación se efectuaron en extractos acuosos y en sustratos sólidos.

Para la evaluación de sustratos sólidos, estos fueron colocados en cajas Petri sobre papel filtro Whatman® y se les agregó 10 mL de agua destilada colocando 10 semillas de las especies a evaluar, se sellaron con parafilm y se dejaron por espacio de 5 días, después del cual se determinó el porcentaje de semillas germinadas. Para el caso de chile, el tiempo de incubación fue de 3 semanas hasta la germinación. Se consideraron tres repeticiones por tratamiento aplicado.

En el establecimiento del bioensayo se utilizaron cajas de Petri de 9 cm de diámetro, sobre las que se colocó papel filtro y se agregaron 10 mL de extracto diluido (50%), enseguida se depositaron 10 semillas de las especies a evaluar, y sobre estas se colocó papel filtro humedecido con el mismo extracto de cada uno de los materiales diluidos. A partir de los datos de germinación de los dos experimentos se calculó el porcentaje de germinación (%G) e índice de germinación (IG), con las siguientes ecuaciones:

$$\%G = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas sembradas}} \cdot 100$$

$$IG = \frac{\text{Germ extracto}}{\text{Germ agua}} \cdot \frac{\text{Lm extracto}}{\text{Lm agua}} \cdot 100$$

Donde: % G = porcentaje de germinación; IG (%) = índice de germinación; Germ extracto = % germinación del extracto; Germ agua= % germinación en agua destilada; Lm extracto = longitud media de la raíz en el extracto; Lm agua = longitud media de la raíz en agua destilada

El grado de fitotoxicidad detectado en los extractos, de acuerdo lo interpretado por Emino y Warman (2004), fue: valores menores a 50, fitotoxicidad alta; valores entre 50 y 80, fitotoxicidad moderada; valores mayores a 100, ausencia de fitotoxicidad.

Análisis estadístico

El establecimiento de cada experimento se hizo bajo un diseño experimental completamente al azar, con un total de 13 y14 tratamientos para el uso de sustratos sólidos o extractos acuosos, respectivamente. Los datos de la variable % de germinación fueron transformados por la función Arcsen para el cumplimiento del comportamiento normal. Se verificó la homogeneidad de varianzas aplicando la prueba de Levene. Una vez cumplidas ambas condiciones, a las variables se les realizó un análisis de varianza y la prueba de Tukey (p <0.05) para la comparación de medias. Para la realización del análisis estadístico se utilizó el software SAS v.9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de germinación en sustratos puros

En *R. sativus*, los porcentajes de germinación más bajos se registraron con los tratamientos conteniendo vermicomposta, sola o en cualquier combinación con suelo, así como con el aserrín compostado solo (36-60%). Una respuesta similar fue observada en *L. sativa*, en la cuál los porcentajes de germinación más bajos se registraron en el tratamiento control, suelo sin combinar y con las mezclas de vermicomposta en alta proporción y el aserrín sin combinar (Cuadro 2). En *S. lycopersicum* se registró un valor promedio de germinación menor en comparación a las otras especies evaluadas, los sustratos sin combinar promovieron de manera significativa la germinación en esta especie (T1, T5, T9, T13), mientras que con los tratamientos de turba:suelo en proporción 1:1, y varias combinaciones de aserrín:suelo y vermicomposta:suelo se registraron los valores más bajos. La capacidad germinativa de *C. annuum* fue similar a la detectada en lechuga, el más alto porcentaje se registró en turba sola (85%). Una respuesta diferencial entre ambas especies es que el uso de vermicomposta sola y suelo agrícola (T9 y T13) provocaron un incremento en el porcentaje de germinación de chile en tanto que para lechuga este parámetro decreció. Los valores más bajos se registraron en aserrín solo y combinado 1:3 con suelo, y con la mezcla vermicomposta:suelo 1:1 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de germinación en semillas de rábano, lechuga, tomate y chile en los diferentes sustratos evaluados.

Tratamiento	<i>Raphanus sativus</i>	<i>Lactuca sativa</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Capsicum annuum</i>
T1	60±19.04 ^e	59±13.36 ^f	70±7.79 ^{ab}	62±10.39 ^{cdef}
T2	80±19.04 ^{cd}	87±13.36 ^{ab}	56±7.79 ^c	72±10.39 ^{bc}
T3	86±19.04 ^{abcd}	72±13.36 ^{cd}	61±7.79 ^{abc}	65±10.39 ^{bcde}
T4	90±19.04 ^{ab}	60±13.36 ^{ef}	55±7.79 ^c	52±10.39 ^f
T5	93±19.04 ^a	90±13.36 ^a	71±7.79 ^{ab}	85±10.39 ^a
T6	89±19.04 ^{abc}	85±13.36 ^{ab}	65±7.79 ^{abc}	70±10.39 ^{bcd}
T7	79±19.04 ^d	78±13.36 ^{bc}	52±7.79 ^c	75±10.39 ^{ab}
T8	82±19.04 ^{bcd}	85±13.36 ^{ab}	59±7.79 ^{bc}	85±10.39 ^a
T9	55±19.04 ^e	61±13.36 ^{def}	79±7.79 ^a	71±10.39 ^{bcd}
T10	58±19.04 ^e	59±13.36 ^f	53±7.79 ^c	63±10.39 ^{cde}
T11	36±19.04 ^f	55±13.36 ^f	58±7.79 ^{bc}	54±10.39 ^{ef}
T12	42±19.04 ^f	71±13.36 ^{cde}	70±7.79 ^{ab}	60±10.39 ^{def}
T13	80±19.04 ^{cd}	53±13.36 ^f	71±7.79 ^{ab}	61±10.39 ^{cde}

Valores muestran la media de seis repeticiones ± desviación estandar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Durante la evaluación de compostas procedentes de desechos agroindustriales, Varnero *et al.* (2014) detectaron porcentajes de germinación menores al 80 % en rábano. De igual forma, la germinación de esta especie se vió inhibida por acción de vermicomposta en altas proporciones, por lo que estos materiales fueron considerados como inmaduros. Estos mismos materiales

resultaron adecuados para la germinación de lechuga. El efecto inhibitorio en el número de semillas germinadas detectado en rábano fue también observado con el uso de vermicomposta y sus mezclas en la presente investigación desarrollada. Por otro lado, Ortega-Martínez *et al.* (2010) determinaron que el uso de aserrín y vermicomposta como sustratos en la germinación de tomate presentaron valores comparables al obtenido con turba, y fueron mayores a los detectados bajo las condiciones de este trabajo. La capacidad germinativa de 15 especies hortícolas fue evaluada en compostas mezcladas en diferentes proporciones con arena, de ese estudio destaca que las semillas de lechuga y tomate alcanzaron porcentajes de germinación de 97% y 50% respectivamente (Velasco-Velasco *et al.*, 2004). Similares tendencias fueron observadas en el presente estudio, donde la lechuga mostró altos porcentajes de germinación y el tomate fue la especie con el número de semillas germinadas más bajo. Si bien existe una variabilidad en cuanto al tiempo de germinación del chile como material biológico, se considera que una germinación del 80-90%, es adecuado para este cultivo. Al respecto, López-Baltazar *et al.* (2013) reportan que la mezcla de vermicomposta y composta sola presentaron valores de germinación dentro de este rango. De igual manera, la vermicomposta con bocashi presentaron los mayores porcentajes de germinación (David-Santoya *et al.*, 2018). Estas pruebas corroboran que la sensibilidad de la especie vegetal evaluada es diferenciada y que depende también del tipo de material utilizado como suministro para la generación de los materiales compostados.

Porcentaje de germinación en extractos acuosos

La prueba de fitotoxicidad que incluye la adición de extractos acuosos a las semillas de las especies evaluadas, dan muestra de que *R. sativus* es sensible a la mayoría de las mezclas, ya que únicamente el aserrín solo y en baja proporción promovieron la germinación (81.7-80.0%) en comparación al testigo (T14: agua). Para el caso de *L. sativa* se constató que esta especie presentó los más altos porcentajes de germinación (80%-90%), y que en la vermicomposta y la composta de aserrín en baja proporción, así como la turba y el suelo sin combinar promovieron de manera significativa ($p \leq 0.05$) ya que los porcentajes de germinación que presentaron oscilaron entre 80-90%, indicativos de una moderada fitotoxicidad. Además, la vermicomposta y el aserrín sin combinar, y en media y alta proporción condujeron a bajos porcentajes de germinación. En *S. lycopersicum* una tendencia similar fue observada en el que los extractos de vermicomposta, turba y sus mezclas promovieron la germinación. En *C. annuum*, a excepción de T6 y T8, todos los extractos acuosos inhibieron la germinación (Cuadro 3).

Gutiérrez-Miceli *et al.* (2011), al probar diferentes mezclas de vermicompostas y lixiviados de las mismas, encontraron que para rábano el máximo valor (54.2 %) del porcentaje de germinación se tuvo con bajas proporciones de ambas componentes.

Al evaluar compostas procedentes de estiércol de ganado vacuno y conejo, así como una composta comercial y su efecto en la germinación de lechuga, se comprobó que ninguna proporción de los extractos de estas mezclas y el tipo de las mismas afectaron de manera significativa la germinación (Huerta-Muñoz *et al.*, 2015). Es importante destacar lo enunciado por Paradelo *et al.* (2010) en relación a los diferentes índices de fitotoxicidad establecidos, como es el caso del porcentaje de germinación, de que es poco conveniente contrastar resultados de materiales compostados de diferente naturaleza, ya que pueden llevar a resultados contradictorios. La mayor sensibilidad de *R. sativus* al efecto fitotóxico de los extractos acuosos con respecto a *L. sativa* se

ha corroborado en otros trabajos, independientemente del tipo de material compostado evaluado (Varnero *et al.*, 2007; Huerta-Muñoz *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Porcentaje de germinación en semillas de rábano, lechuga, tomate y chile en los diferentes extractos acuosos evaluados.

Tratamiento	<i>Raphanus sativus</i>	<i>Lactuca sativa</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Capsicum annum</i>
T1	81.7±17.99 ^d	67.0±13.62 ^{fg}	63.0±13.64 ^{hi}	69.7±11.06 ^d
T2	72.0±17.99 ^a	45.0±13.62 ^{fg}	49.0±13.64 ^j	52.0±11.06 ^{fgh}
T3	75.3±17.99 ^{bc}	60.3±13.62 ^h	63.0±13.64 ^{hi}	58.0±11.06 ^{ef}
T4	80.0±17.99 ^{ab}	85.0±13.62 ^c	5.0±13.64 ^{ef}	70.3±11.06 ^d
T5	73.3±17.99 ^c	90.0±13.62 ^{ab}	91.0±13.62 ^{abc}	85.3±11.06 ^a
T6	40.3±17.99 ^g	80.0±13.62 ^d	92.0±13.62 ^{ab}	70.0±11.06 ^d
T7	30.0±17.99 ^h	70.0±13.62 ^f	87.0±13.62 ^{bc}	84.0±11.06 ^{ab}
T8	47.3±17.99 ^f	75.0±13.62 ^e	94.0±13.62 ^a	73.0±11.06 ^{cd}
T9	38.7±17.99 ^g	55.0±13.62 ⁱ	80.0±13.62 ^{de}	77.3±11.06 ^{bc}
T10	37.7±17.99 ^g	71.0±13.62 ^{ef}	68.0±13.62 ^{gh}	54.0±11.06 ^{efg}
T11	55.3±17.99 ^e	65.0±13.62 ^g	75.0±13.62 ^{ef}	50.7±11.06 ^{gh}
T12	38.0±17.99 ^g	91.0±13.62 ^a	80.0±13.62 ^{de}	46.3±11.06 ^{gh}
T13	55.3±17.99 ^e	86.0±13.62 ^{bc}	72.0±13.62 ^{fg}	59.0±11.06 ^e
T14	65.7±17.99 ^d	80.0±13.62 ^d	60.0±13.62 ⁱ	70.3±11.06 ^d

Valores muestran la media de seis repeticiones. ± desviación estandar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Índices de germinación

En rábano sobresalieron los tratamientos de extractos acuosos procedentes de aserrín con altos valores de índices de germinación (93-175) y sus combinaciones (T4 y T5), la turba combinada en mediana y alta proporción tuvieron valores de 85 y 116; de igual manera la vermicomposta sola y en altas proporciones presentaron índices de germinación por encima de 85, lo que los cataloga como extractos sin fitotoxicidad y moderada fitotoxicidad (Figura 1). El uso de sustratos sólidos muestra que la composta de aserrín, la turba y sus combinaciones, y el suelo en general no presentaron indicios de fitotoxicidad. Para ambos casos, se indican diferencias significativas de los tratamientos sobresalientes con el resto de los evaluados.

Para el caso de la lechuga, la mayoría de los tratamientos mostraron altos IG por encima de 80, que de acuerdo con Emino y Warman (2004) estos valores son indicativos de la presencia de nutrientes y/o de promotores de la germinación en los materiales evaluados, solo el extracto acuoso del suelo solo y puro mostraron IG por debajo del 80%. Todos los sustratos sólidos mostraron IG por encima de 100, la única excepción fue el suelo (49) lo que muestra que tiene altos niveles de fitotoxicidad.

Si bien se ha demostrado una mayor sensibilidad del rábano en comparación a otras especies hortícolas respecto a valores de IG, en el presente estudio el mayor efecto se pudo establecer en el porcentaje de germinación. Trabajando con compostas Ofosu-Budu *et al.* (2010) establecen que la prueba de IG es capaz de discriminar entre compostas maduras de inmaduras. Por otro lado, García-

Ramírez *et al.* (2016) confirman que el IG es un parámetro más sensible para determinar el potencial fitotóxico en materiales compostados en comparación al porcentaje de germinación, tratándose además de una técnica rápida, sencilla y poco costosa.

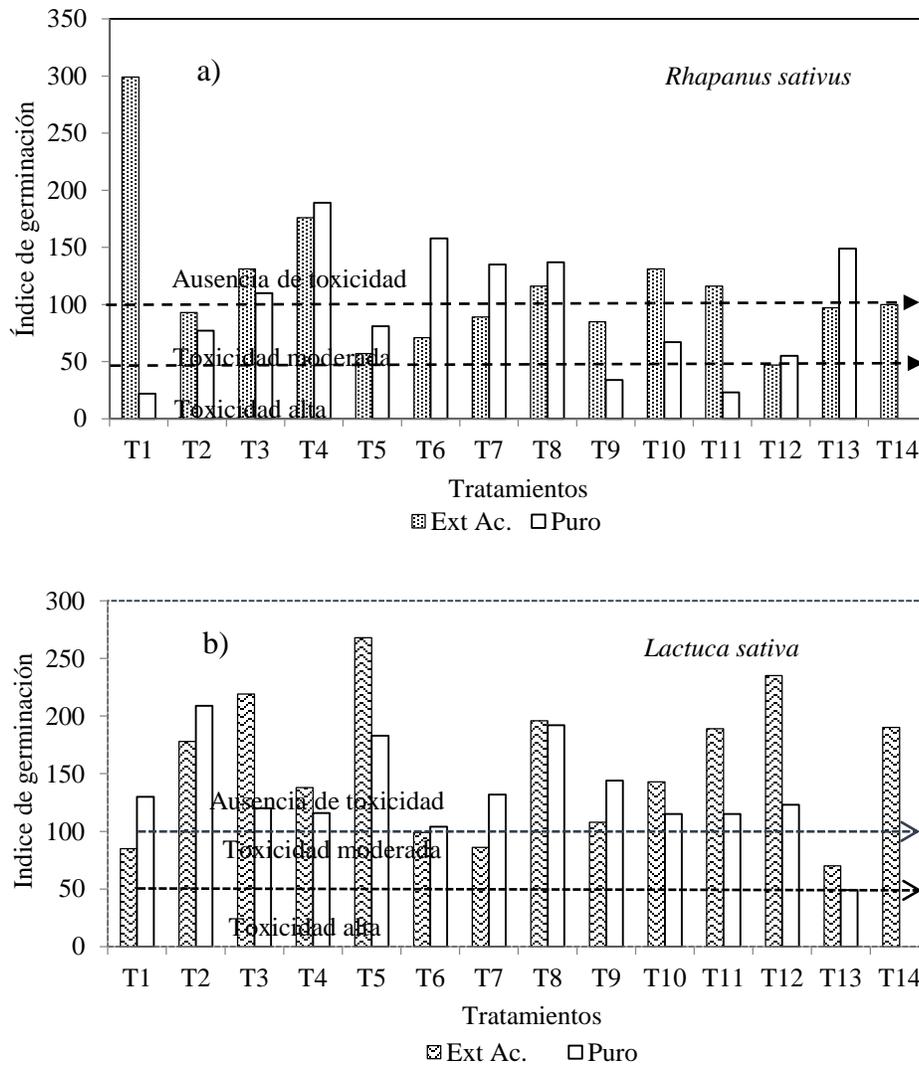


Figura 1. Índices de germinación en semillas de *Rhapanus sativus* (a) y *Lactuca sativa* (b) en extractos acuosos (Ext Ac.) procedentes de materiales compostados solos o combinados y sustratos sólidos con suelo agrícola.

Los índices de germinación en *S. lycopersicum* fueron los más altos y, a excepción de la composta de aserrín en baja proporción, todos los tratamientos no mostraron fitotoxicidad. Cuando se evaluaron los sustratos puros, la composta de aserrín y turba en baja proporción, así como el suelo presentaron los más bajos índices de germinación (Figura 2).

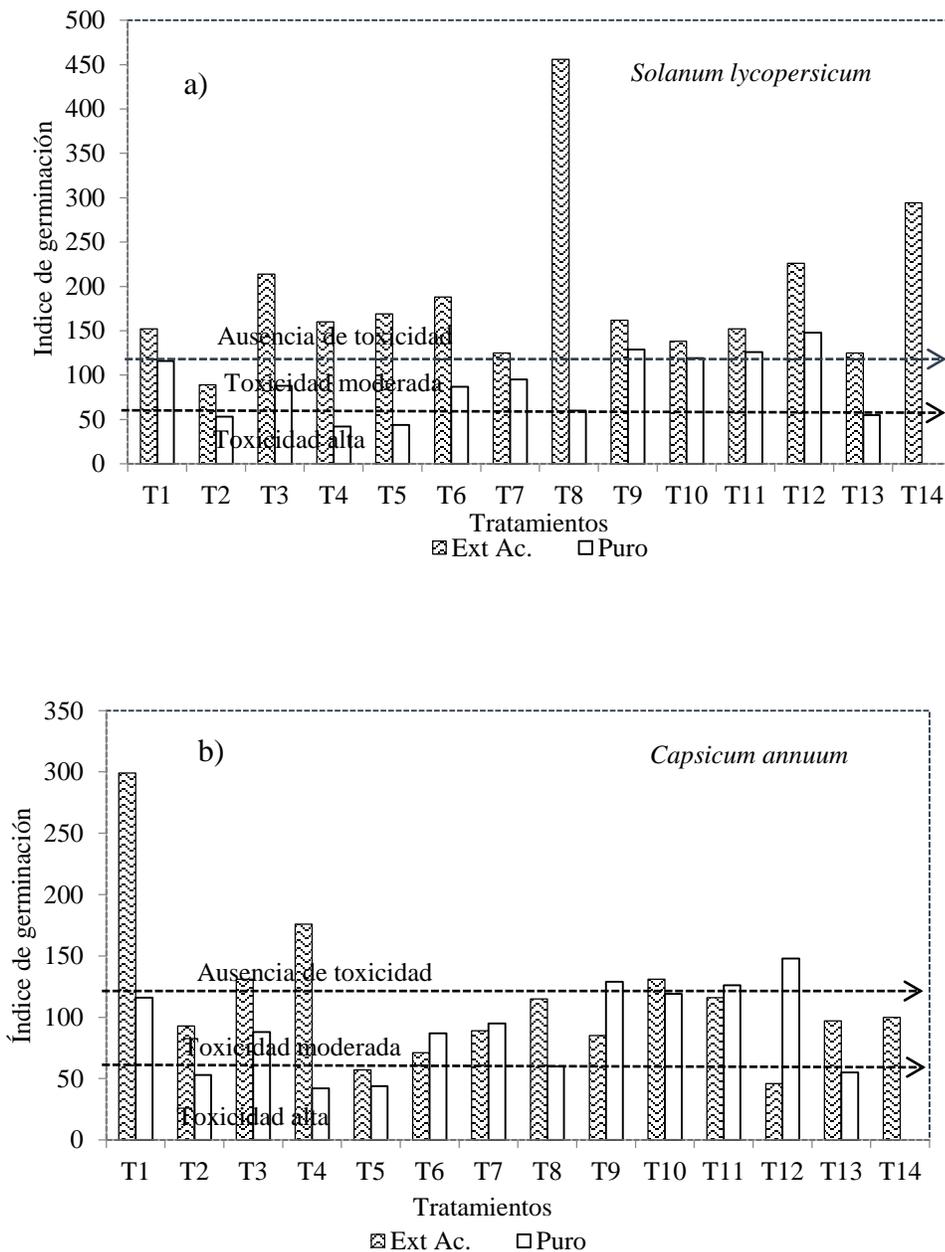


Figura 2. Índices de germinación en semillas de *Solanum lycopersicum* (a) y *Capsicum annuum* (b) para extractos acuosos (Ext Ac.) procedentes de materiales compostados solos o combinados con suelo agrícola.

El uso de extractos acuosos en semillas de *C. annuum*, en general en todos los tratamientos generaron índices de germinación con valores que denotan ausencia de fitotoxicidad (Figura 2). Para esta especie, los sustratos puros de la vermicomposta y sus mezclas dieron como resultado los valores más altos de IG para esta especie (119-148).

De los resultados obtenidos en el presente estudio y de los reportados en otras investigaciones, se infiere que los valores de IG en las especies valoradas varían dependiendo de los materiales utilizados, por lo que se recomienda realizar las pruebas de fitotoxicidad con aquellas especies que se desea trabajar si se pretende hacer uso de materiales compostados (Cano *et al.*, 2011). Por otro lado, es posible que las razones de la fitotoxicidad de los compost para cada especie evaluada se deban a causas diversas y en cada caso en particular intervienen distintos componentes (Zubillaga *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

Las tasas de germinación en las mezclas de los materiales evaluados variaron de acuerdo con la especie vegetal valorada, corroborándose la sensibilidad del rábano con relación a su capacidad germinativa tanto en sustratos puros como en los extractos de las mezclas de los materiales compostados evaluados; se evidencia también su afinidad a la composta de aserrín. La lechuga también mostró sensibilidad a la vermicomposta. Las semillas de tomate y chile fueron muy sensibles a casi todos los materiales evaluados. Los índices de germinación determinados muestran que la fitotoxicidad de los materiales evaluados en las especies vegetales probadas fue en su mayoría ligeramente tóxicos o sin fitotoxicidad presente. Esto indica que el uso del porcentaje de germinación fue más discriminativo para establecer la sensibilidad de las especies evaluadas. Dada la sensibilidad diferencial de las especies vegetales es necesario realizar pruebas que permitan establecer la presencia de sustancias promotoras de la germinación y crecimiento, o bien de sustancias con capacidad para inhibir estos procesos.

LITERATURA CITADA

- Bernal, M.P., J.A. Albuquerque and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. *Bioresource Technology* 100(22): 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- Bueno P., R. Tapias, F. López y M. J. Díaz. 2008. Optimizing composting parameters for 36 nitrogen conservation in composting. *Bioresource Technology* 99: 5069-5077. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.087>
- Cano, R.P., R.A. Moreno, C.H. Marqués y D.N. Rodríguez. 2004. Producción orgánica de tomate bajo invernadero en la Comarca Lagunera. Memorias del cuarto Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coahuila, México. In: *Agricultura Orgánica. Cuarta parte*. M Fortis, E Salazar, J Dimas, P Preciado (Eds.). Universidad Juárez del Estado de Durango. México.
- Cano, R.P., V.U. Figueroa, M.J.M. Cruz, E.I.A. Araiza y A. Moreno-Reséndez. 2011. Determinación del requerimiento de lavado y fitotoxicidad en compostas y sustratos para la producción en invernadero. In: *Agricultura Orgánica. Cuarta parte*. M Fortis, E Salazar, J Dimas, P Preciado (Eds.). Universidad Juárez del Estado de Durango. México. pp: 320-334.
- Crojen, A., C. Turner, A. Williams, A. Barker and S. Guy. 2003. Composting under controlled conditions. *Environmental Technology* 24: 1221-1234. <https://doi.org/10.1080/09593330309385664>
- David-Santoya, J.J.E., R. Gómez-Álvarez, A. Jarquín-Sánchez y A. Villanueva-López. 2018. Caracterización de vermicompostas y su efecto en la germinación y crecimiento de *Capsicum chinense* Jacquin. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 5(14): 181-190. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a5n14.1465>

- Edwards, C.A. and N.Q. Arancón. 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. *In*: Edwards, C.A. (Ed) Earthworms Ecology CRC Press, Boca Raton, Florida, London, New York, Washington. pp. 345-379.
- Elvira, C., L. Sampedro, E. Benitez and R. Nogales. 1998. Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot scale study. *Bioresource Technology* 63: 205-211.
- Emino, E. and P. Warman. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost, Science&Utilization* 12: 342-348. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702203>.
- García-Ramírez, G., F. Martínez-Rodríguez, N. Chávez-González, M. Hernández-Guillen, M. Dantín-Martínez y J.A. Pascual-Amaro. 2016. Prueba de fitotoxicidad para evaluar el grado de madurez en abonos orgánicos. *Agrotecnia de Cuba* 40(1): 47-52.
- Ofosu-Budu, G.K., J.N. Hogarh, J.N. Fobil, A. Quaye, S.K.A. Danso and D. Carbo. 2010. Harmonizing procedures for the evaluation of compost maturity in two compost types in Ghana. *Resources Conservation and Recycling* 54(3): 205-209. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.001>
- Garg, P., A. Gupta and S. Satya. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology* 97: 391-395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009>
- Gutiérrez-Miceli, F.A., M.A. Oliva-Llaven, P. Mendoza-Nazar, B.J.D. Ruíz-Sesma, L. Álvarez-Solís and L. Dendooven. 2011. Optimization of vermicompost and worm-bed leachate for the organic cultivation of radish. *Journal of Plant Nutrition* 34:1642–1653. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.592561>
- Huerta-Muñoz, E., J. Cruz-Hernández, L. Aguirre-Álvarez, R. Caballero-Mata y L.F. Pérez-Hidalgo. 2015. Toxicidad de fertilizantes orgánicos estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Terra Latinoamericana* 33: 179-185.
- Hu, Z., R. Lane and Z. Wen. 2008. Composting clam processing wastes in a laboratory and pilot-scale in-vessel system. *Waste Management* 29(1):180–185. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.016>.
- Ianotti, D.A., T. Pang, B.L. Toth, D.L. Elwell, H.M. Keener and H.A.J. Hoitink. 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science & Utilization* 1(3): 52-65. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1993.10757890>.
- Lazcano, C., J. Arnold, A. Tato, J.G. Zaller and J. Domínguez. 2009. Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research* 4: 944-951.
- López-Baltazar, J., A. Méndez-Matías, L. Pliego-Marín, E. Aragón-Robles y M.L. Robles-Martínez 2013. Evaluación agronómica de sustratos en plántulas de chile ‘onza’ (*Capsicum annuum*) en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1139-1150.
- Ndegwa, P.M. and S.A. Thompson. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology* 76: 107-112. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00104-8).
- Nogales, R., J. Domínguez y S. Mato. 2008. Vermicompostaje. *En*: Moreno, J y Moral, R. (Eds). *Compostaje*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 189-207.
- Ortega-Martínez, L.D., J. Sánchez-Olarte, R. Díaz-Ruiz y J. Ocampo-Mendoza. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum esculentum* L.). *Ra Ximhai* 6(3): 365-372.

- Paradelo, R., A.B. Prieto, R.G. Sandu and M.T. Barral. 2010. Can stability and maturity be evaluated in finished composts from different sources? *Compost, Science & Utilization* 18: 22-31. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2010.10736930>.
- Suthar, S. and S. Singh. 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Peryonyc sansibarius*). *International Journal Environmental Science and Tecnology* 5(1): 99-106.
- Varnero, M.T., C. Rojas y R. Orellana. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 7 (1) 2007 (28-37). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003>.
- Varnero, M.T., K. Galleguillos, D. Guerrero y J. Suárez. 2014. Producción de biogás y enmiendas orgánicas a partir del residuo olivícola (alperujo). *Información Tecnológica* 25(5): 73-78. doi: 10.4067/S0718-07642014000500011.
- Velasco-Velasco, J., B. Figueroa-Sandoval, R. Ferrera-Cerrato, A. Trinidad-Santos y J. Gallegos-Sánchez. 2004. CO₂ and Microbial Population Dynamics in Manure and Straw Compost under Aeration. *Terra Latinoamericana*. 22(3):307-316.
- Wu, L., Q. Ma and G. A. Martínez. 2000. Comparison of Methods for Evaluating Stability and Maturity of Biosolids. *Compost. Journal of Environmental Quality*. 29(2): 424-429.
- Zubillaga, M., A. Branzini y R. Lavado. 2008. Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen* 9: 1-5.
- Zucconi, F., A. Pera, M. Forte and M. De Bertoli. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. *Biocycle* 22: 54-57.