

Indicadores físicos, químicos y biológicos de la vermiestabilización de residuos orgánicos

Elizabeth García-Gallegos¹, Héctor S. Luna-Zendejas², Eunice Zamora-Campos¹

CIGyA¹, CICC-Facultad de Agrobiología²

Universidad Autónoma de Tlaxcala

Tlaxcala, México

[gallegoseg, hlzendejas9]@hotmail.com, eunicemarina@yahoo.es

Abstract— The vermistabilization is an eco-technology, simple, feasible and beneficial for the production of vermicompost. The aim of this study was to evaluate the quality of vermicomposts through indicators of maturity and phytotoxicity test with barley seeds, radishes and beans obtained from various organic waste. The results indicate that the pH, electrical conductivity, organic matter, carbon/nitrogen ratio, total nitrogen and bulk density were found within the limits of Mexican standards like the concentration of lead, chromium, cadmium and nickel. The bean seeds were more sensitive to phytotoxicity test, however, evaluated vermicomposts can be considered as organic amendments to improve the quality of degraded soils.

Keyword— *Vermicomposts, maturity, phytotoxicity.*

Resumen— La vermiestabilización es una eco-tecnología, sencilla, viable y benéfica para la producción de vermicomposta. El objetivo del trabajo consistió en evaluar la calidad de vermicompostas a través de indicadores de madurez y la prueba de fitotoxicidad con semillas de cebada, rábano y frijol, obtenidas a partir de diferentes residuos orgánicos. Los resultados indican que el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación carbono/nitrógeno, nitrógeno total y densidad aparente se encontraron dentro de los límites de la normatividad mexicana al igual que la concentración de plomo, cromo, cadmio y níquel. Las semillas de frijol fueron más sensibles a la prueba de fitotoxicidad, sin embargo, las vermicompostas evaluadas pueden ser consideradas como enmiendas orgánicas para mejorar la calidad de suelos degradados.

Palabras claves— *Vermicompostas, madurez, fitotoxicidad.*

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos como los lodos residuales que generan las plantas de tratamiento, la hojarasca de parques y jardines, los residuos domésticos y residuos sólidos urbanos, así como residuos de cosechas, estiércoles, bagazo de caña, cascarilla de arroz, entre otros, son fuente importante de materia orgánica (MO), su empleo como mejoradores de la calidad del suelo ha sido ampliamente documentado. Sin embargo, presentan diferentes propiedades físicas y químicas, lo que depende del proceso que los generó, por lo que su impacto en el suelo debe evaluarse para evitar efectos ambientales adversos [1, 2]. Al buscar una oportunidad de aprovechamiento de los residuos, se hace necesaria su caracterización para conocer su composición y con esto definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento [3]. Una alternativa es emplear el proceso de vermiestabilización, el cual emplea la acción conjunta de microorganismos y lombrices para procesar residuos orgánicos y obtener un producto estable denominado vermicomposta o humus de lombriz [4]. Almaguer et al. [5] mencionan que es la cría controlada de lombrices; técnica que involucra varios procesos biológicos, que aceleran la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición hasta convertirlo en humus. El proceso de vermiestabilización se conoce también como una eco-tecnología, sencilla, viable y beneficiosa para la producción intensiva de vermicomposta [6].

Las lombrices en su mayoría son hermafroditas aunque existen algunas que se reproducen partenogénicamente (autofecundación). La especie epígea *Eisenia foetida* Savigny se reproduce sexualmente y por partenogénesis, es quizás la más prolífica, por esta razón es una de las especies más

utilizadas para la biotransformación de los residuos orgánicos, junto con ella, la especie *E. andrei* también presenta alta tasa reproductiva, además de hábitos muy semejantes a la anterior. El ciclo biológico de estas especies es poco menos de 90 días, desde la salida de las lombrices juveniles del capullo hasta la aparición de nuevos. En México, se utiliza ampliamente *E. foetida* Savigny para obtener vermicomposta [7]. Cada lombriz consume aproximadamente de 100 a 300 mg de alimento por día para incrementar su peso vivo de 300 a 450 g en 90 días, del material consumido entre el 5 y 10% es empleado para llevar a cabo las actividades metabólicas y el otro 85% es excretado como vermicomposta que contiene orina (amonio) y mucoproteínas [8]. Además de ser rica en macro y micronutrientes, vitaminas, hormonas de crecimiento, enzimas; tales como, proteasas, amilasas, lipasas, celulasas, quitinasas, endonucleasa, fosfatasa alcalina, nitro reductasa, enzimas que realizan la degradación de la materia orgánica para obtener proteínas y carbohidratos, así como otros compuestos orgánicos de una complejidad estructural importante, lo que depende del tipo de sustrato utilizado como fuente de alimento para las lombrices [9, 10].

Su alimento se compone de cuatro elementos básicos: residuos orgánicos con alto contenido de nitrógeno (N), residuos orgánicos con alto contenido de carbono (C), agua (humedad) y aire (oxígeno y ventilación) [11]. Los contenidos de carbono y nitrógeno tienen que ser en dosis adecuadas para llevar a cabo un buen proceso, ya que demasiado carbono se convierte en un proceso lento, y si hay más nitrógeno, se generan malos olores y se produce una mezcla viscosa [12]. Gunadi et al. [13] mencionan que una buena selección de residuos y equilibrio entre ellos se tendrá como resultado un buen desarrollo de microorganismos, sin embargo, si los residuos orgánicos como el estiércol contienen sales y sustancias potencialmente tóxicas o los residuos vegetales, sustancias ácidas, se tiene que realizar una estabilización de los residuos antes de incorporar las lombrices. En México, se emplean en mayor medida los estiércoles para llevar a cabo el proceso de vermiestabilización, debido a que su acumulación genera malos olores, nitratos y sales, se reporta el empleo de estiércol de ganado vacuno, gallinaza, porqueraza y estiércol de conejo; sin embargo, el estiércol de bovino contiene altas concentraciones de nitrógeno que permite obtener una vermicomposta de buena calidad [14].

De esta manera, el proceso de vermiestabilización se convierte en una alternativa sustentable para reducir residuos orgánicos, el producto, la vermicomposta, además de incrementar el contenido de materia orgánica al suelo, aumenta la capacidad de retención de agua, especialmente si son arenosos mejora la agregación de las partículas del suelo, se previene la erosión, evita que se compacte el suelo, en suelos contaminados por metales pesados forma complejos organometálicos y ayuda a la eliminación de patógenos [15]. Al tener una elevada carga enzimática y bacteriana incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos, liberándolos en forma paulatina, facilitando su asimilación por las raíces de las plantas e impidiendo que éstos sean lixiviados con el agua, manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo, lo que favorece la germinación de las semillas y el desarrollo de las plantas [16].

El empleo de la vermicomposta en la agricultura reduce la aplicación de fertilizantes minerales; sin embargo, algunos elementos como los metales pesados pueden acumularse en los suelos al repetir su aplicación, lo que impactarían a otros integrantes del agroecosistema [17]. Es indispensable evaluar la madurez de las vermicompostas, debido a que su calidad no depende de un solo parámetro químico, microbiológico, bioquímico o toxicológico [18].

La relación carbono/nitrógeno es el indicador probablemente más utilizado para señalar la madurez de la vermicomposta, debido a que el carbono es una fuente de energía y forma parte de la masa de las células microbianas como elemento estructural básico; en cuanto al nitrógeno es un componente decisivo de las proteínas, las bacterias lo emplean como nutrimento y cuando es escaso, la población de microorganismos disminuye y el proceso de vermiestabilización presenta un retraso; por otro lado, si existe demasiado aumenta el crecimiento microbiano y se acelera la descomposición de los residuos, pero pueden existir serios problemas de olores desagradables al disminuir el oxígeno y producirse

condiciones anaeróbicas, debido principalmente a la formación de amoníaco [19]. En el caso del carbono, su pérdida se realiza en forma de dióxido de carbono (CO_2), debido a las actividades respiratorias de las lombrices y de la microbiota asociada [20].

En México, la NMX-FF-109-SCFI-2007 [21] establece diversos indicadores que deberá presentar una vermicomposta previo a ser aplicada como enmienda orgánica al suelo, los parámetros son: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico (CIC), nitrógeno total, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (Da); humedad, relación carbono/nitrógeno, así como el contenido de metales como plomo (Pb), arsénico (As), níquel (Ni), mercurio (Hg), cromo (Cr), cadmio (Cd) y zinc (Zn), la presencia de huevos de helmintos, hongos fitopatógenos, *Salmonella* spp., y *Escherichia coli*. Para complementar el análisis de calidad de las vermicompostas, actualmente se emplea el ensayo con plantas, indicador biológico que mide el efecto combinado de varios factores fitotóxicos. Sin embargo, este tipo de ensayo varía en su metodología, por el material a evaluar y el tipo de especie vegetal a emplear [22].

Existen métodos para evaluar la toxicidad de químicos u otros contaminantes, basándose en los efectos sobre la emergencia y crecimiento de plántulas como lo propone la Organización de Desarrollo y Cooperación Económica y la Organización Internacional de Estandarización. Pruebas específicas para compostas se tienen en Australia [23], Estados Unidos [24] y en Alemania [25], un método estándar para evaluar la fitotoxicidad de compostas en México se reporta sólo en la Gaceta Oficial del Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 [26], en la cual se reporta que en una composta obtenida a partir de residuos orgánicos debe evaluar su calidad a través de la prueba de fitotoxicidad. Sin embargo, el principal problema para la aplicación e interpretación de esta prueba es la diferencia en el material objeto de la investigación, de las condiciones experimentales, las especies de plantas utilizadas, la duración del experimento, los procedimientos individuales para la obtención de los extractos acuosos, o los parámetros medidos (ya sea la longitud de la raíz, el peso seco o fresco de las plantas, germinación de las semillas, índice de germinación, entre otras) [27]. Debido a lo cual, los bioensayos con plantas permiten conocer los efectos tóxicos que provoca un sustrato o contaminante, aunque no es una prueba contundente se le puede considerar como una herramienta complementaria a los análisis físicos y químicos realizados a un suelo, agua, sedimento u abono orgánico [22, 28]. Por lo anteriormente mencionado el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la calidad de diferentes vermicompostas a través de indicadores de madurez y la prueba de fitotoxicidad como indicador biológico.

II. METODOLOGÍA

A. *Sustratos*

Para las diferentes vermicompostas se emplearon los siguientes sustratos: Lodo residual lácteo (LRL) obtenido de una empresa dedicada a la fabricación de diversos productos derivados de la leche, estiércol de ganado vacuno (EGV) recolectado en un establo doméstico, estiércol de conejo (EC) proporcionado por el Centro de Investigación en Reproducción Animal de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, rastrojo de maíz (RM) adquirido en un establecimiento comercial, desechos de corteza de aserradero (CA) y residuos domésticos (RD) recolectados de una casa-habitación. El lodo residual lácteo tuvo un 70% de humedad y se aplicó directamente, mientras que el estiércol de ganado vacuno y el de conejo fueron secados a temperatura ambiente y a la sombra y el residuo de maíz fue triturado antes de aplicarlo.

B. *Establecimiento del proceso de vermicompostaje*

Para obtener las diferentes vermicompostas (V) se empleó a la lombriz *Eisenia foetida* Savigny, proporcionada por los Laboratorios de Ecología Forestal y de Fertilidad de Suelos del Centro de Investigación de Genética y Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala.

El proceso se realizó de acuerdo a las siguientes proporciones:

Vermicomposta 1 = Estiércol de conejo (50%) + Corteza de aserradero (50%)

Vermicomposta 2 = Estiércol de conejo (50%) + Residuos domésticos (50%)

Vermicomposta 3 = Lodos residuales lácteos (60%) + Estiércol de ganado vacuno (10%) + Rastrojo de maíz (30%)

Vermicomposta 4 = Lodos residuales lácteos (40%) + Estiércol de ganado vacuno (20%) + Rastrojo de maíz (40%)

Los tratamientos fueron estabilizados por un periodo de 30 días, al término de este tiempo se agregó la lombriz, la humedad fue controlada durante todo el tiempo que duró el proceso (5 meses). Las vermicompostas 1 y 2 se llevaron a cabo en un espacio de 1 m x 2 m x 50 cm y las vermicompostas 3 y 4 en bandejas de plástico.

C. Análisis químico

De cada vermicomposta se tomaron 500 g para ser tamizada a través de una malla de abertura de 2 mm, con el objeto de tener un tamaño de partícula homogéneo y poder realizar los análisis. Los análisis consistieron en determinar el pH (relación 1:2 p/v), materia orgánica y carbono orgánico por el método de Walkley-Black [29], la conductividad eléctrica (dS m^{-1}) en el extracto de saturación [30], capacidad de intercambio catiónico [$\text{Cmol}(+) \text{kg}^{-1}$] por la técnica con acetato de amonio [31], nitrógeno total (%) a través del método Kjeldahl [32], relación carbono/nitrógeno por la NMX-AA-67-1985 [33], densidad aparente (g cm^{-3}) por el técnica de la probeta que establece la NMX-FF-109-SCFI-2008 [21] y fósforo disponible (%) por el método Bray [34].

La concentración total de plomo, cromo, cadmio y níquel que menciona la NMX-FF-109-SCFI-2008 [21] para vermicompostas fue determinada de acuerdo al método EPA 3051 [35]. Obtenidas las digestiones se aforaron a 50 ml con una solución de ácido nítrico al 3%. La cuantificación de los metales se llevó a cabo por un espectrofotómetro de absorción atómica (marca Varian, modelo 880, Australia).

D. Prueba biológica

Se empleó la prueba de fitotoxicidad con semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.), rábano (*Raphanus sativus* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). La elección de las semillas fue de acuerdo a la OECD [36] la cual menciona que para establecer esta prueba se deben seleccionar mínimo tres especies vegetales. Se obtuvo un extracto acuoso de cada vermicomposta en una proporción 1:10 (p/v) y como control se empleó agua destilada. Se colocó papel absorbente en cajas de Petri (100 x 15 mm) se distribuyeron 4 semillas en cada caja por triplicado y humedecieron con 5 mL del extracto acuoso y de agua destilada (control). Las cajas fueron tapadas y colocadas en una estufa de incubación a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Las semillas se humedecieron cada 24 h durante 3 días. Se midió la longitud radicular y el número de semillas germinadas para determinar el índice de germinación (IG) con respecto al control [37].

El índice de germinación (IG) expresado en porcentaje fue calculado de la siguiente manera:

$$\%IG = 100 \times \frac{G}{G_c} \times \frac{L}{L_c}$$

Donde:

G = Germinación de las semillas

L = Longitud de la radícula de las plántulas

G_c = Germinación de las semillas control

Lc = Longitud de la radícula de las plántulas control

Martignon [38] propone diferentes criterios para clasificar la toxicidad a través del índice de germinación (%):

Si el índice de germinación es $> 90\%$, no hay toxicidad

Si índice de germinación es $75 - 90\%$, es de baja toxicidad

Si índice de germinación es $51 - 75\%$, es de moderada toxicidad

Si índice de germinación es $26 - 50\%$, es de alta toxicidad

Si índice de germinación es $< 2\%$, es de severa toxicidad

E. Análisis estadístico

Los datos de los indicadores e índice de germinación se analizaron a través de un análisis descriptivo, análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) para determinar si existen diferencias significativas entre las vermicompostas. Además se determinó el coeficiente de correlación Pearson entre los indicadores del suelo que influyen en la fitotoxicidad (pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo) y el índice de germinación medido a través del porcentaje de las diferentes plántulas (cebada, rábano y frijol), empleando el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI [39].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación de las vermicompostas

En la tabla I se muestran los resultados de los indicadores seleccionados para evaluar la calidad de las diferentes vermicompostas. El valor de pH se encontró dentro del intervalo que establece la NMX-FF-109 [21], así como los valores de la conductividad eléctrica, materia orgánica, relación carbono/nitrógeno, nitrógeno total y la densidad aparente. Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, la vermicomposta 2 presentó un valor menor a lo que establece la normatividad (< 40), lo que indica que parte del material orgánico no fue debidamente humificado y por lo tanto puede ocasionar fitotoxicidad a las plantas [40].

La relación carbono/nitrógeno es un indicador de la madurez de las vermicompostas y debe ser < 20 como lo señala la normatividad mexicana, a menos que permanecieran materiales lignocelulósicos en los residuos orgánicos [41, 42]. En el caso de las vermicompostas evaluadas en este trabajo, esta relación fue < 20 y con base en este valor las vermicompostas se consideran maduras, ya que una relación alta (> 50) puede provocar la inmovilización del nitrógeno y una baja (< 10) ocasionaría una toxicidad por amonio cuando se aplique como enmienda orgánica, lo que dependerá de los residuos orgánicos empleados [43]. Un indicador de madurez más a considerar es la relación amonio/nitratos, la cual varía dependiendo de las materias primas, pero en general un abono inmaduro tendrá mayores niveles de amonio que nitratos [44]. Ch'ng et al. [40] reportaron una relación carbono/nitrógeno de 19.8 al final del proceso de compostaje de la mezcla de residuos de hojas de piña trituradas, gallinaza y melaza; una concentración de amonio de 63 mg L^{-1} y nitrato de 42 mg L^{-1} . Por otro lado, Pérez et al. [45] reportaron que una vermicomposta obtenida a partir de residuos de hortalizas y estiércol de ganado vacuno presentó una relación de 8. Olivares et al. [46] en una vermicomposta a partir de estiércol de ganado vacuno y aserrín tuvo una relación de 7, valores que indican una humificación completa de los residuos orgánicos.

Tabla I. Indicadores físicos y químicos de las vermicompostas

Parámetros	Vermicomposta 1	Vermicomposta 2	Vermicomposta 3	Vermicomposta 4	NMX-FF-109-SCFI-2007 [21]
pH 1:2 (p/v)	6.6±0.08	6.8±0.03	6.1±0.03	7.0±0.05	5.5 – 8.4
CE (dS m ⁻¹)	0.080±0.02	0.076±0.02	0.087±0.02	0.073±0.12	≤ 4
CIC [Cmol (+) kg ⁻¹]	63.2±0.22	33.1±0.27	50.6±2.9	51.5±0.86	> 40
MO (%)	43.8±0.28	31.3±1.15	35.5±0.41	31.3±0.41	20 – 50
C _{orgánico} (%)	25.4±0.16	18.1±0.67	20.5±0.18	18.1±0.24	-
C/N	18.6±0.34	14.7±0.36	15.8±0.69	15.1±0.83	≤ 20
N _{total} (%)	1.3±0.03	1.2±0.03	1.3±0.05	1.2±0.05	1 – 4
P (%)	0.02±1.15	0.02±2.15	0.04±2.5	0.04±1.35	0.15-1.5*
Dap (g cm ⁻³)	0.5±0.01	0.4±0.01	0.6±0.08	0.7±0.02	0.4 -0.9
Pb (mg kg ⁻¹)	0.081	0.025	Nd	0.003	100
Cr (mg kg ⁻¹)	0.003	0.008	Nd	Nd	120
Cd (mg kg ⁻¹)	Nd	0.012	Nd	Nd	2
Ni (mg kg ⁻¹)	0.121	0.004	0.009	0.004	20

Nd = No detectado, *Intervalo de P [43]

En cuanto a la concentración de fósforo, ésta fue mayor en las vermicompostas obtenidas a partir de los lodos residuales de la industria láctea (Tabla I); sin embargo, su valor es menor a lo que reportan Soto y Meléndez [43] de 0.15 a 1.5 % en abonos de lodos residuales municipales. Barik et al. [47] reportaron que con una vermicomposta a partir de residuos de cosecha y estiércol de ganado vacuno en una proporción 1:1 (p/p) tuvieron concentraciones de fósforo de 0.19 a 1.02%. La mineralización ocurre por la acidez provocada por los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica y esto provoca un aumento en la solubilización de éste, dado por las enzimas llamadas fosfatasas que se localizan en el intestino de la lombriz [48] y la descomposición dada por la influencia de la temperatura, el pH, la aireación, la naturaleza de los residuos orgánicos y la relación carbono/fósforo. En este punto, si la relación de ésta es igual o menor a 200, es de esperarse la mineralización del fósforo orgánico durante la descomposición de la materia orgánica; si por el contrario, dicha relación es igual o mayor a 300, ocurrirá una inmovilización del fósforo inorgánico durante el mismo proceso [49]. Las vermicompostas evaluadas presentaron una relación mayor a lo que menciona el autor, por lo que con este parámetro se puede indicar que no hubo una adecuada mineralización de los residuos orgánicos, pero no se limita su empleo.

Respecto a la concentración de metales (Pb, Cr, Cd y Ni) en las diferentes vermicompostas, su valor fue mucho menor a lo que establece la normatividad mexicana, por ello éstas pueden ser empleadas como enmiendas orgánicas para mejorar la calidad de suelos que se encuentran deficientes de materia orgánica. Los abonos orgánicos de residuos vegetales por lo general presentan bajos niveles de metales pesados, mientras que aquellos obtenidos a partir de residuos orgánicos urbanos e industriales tienen una alta concentración, lo que retrasa la madurez de los abonos [37]. Condición que no se presentó en las vermicompostas de lodos residuales de la industria láctea, obtenidas en este trabajo. La concentración total de metales pesados es un indicador útil de contaminación presente en los abonos orgánicos que serán aplicados como enmiendas, pero no provee información de metales disponibles para las plantas, lo que depende de su forma química (especiación) [50]. Por otra parte, la lombriz participa como organismo acumulador de metales pesados y por lo tanto reduce los niveles de toxicidad en el sustrato, es por eso que este organismo además de elaborar vermicomposta es considerado un bioacumulador de metales del ambiente [51].

B. Prueba de fitotoxicidad

Las figuras 1, 2 y 3 muestran los resultados de la prueba de fitotoxicidad de las vermicompostas a través de la medición del índice de germinación, donde se observan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre las vermicompostas y el control. En la prueba con cebada, las vermicompostas 1, 2 y 3 presentaron un índice de germinación $> 100\%$, algunas veces los valores sobrepasaron el 100%, esto indica la presencia de nutrientes o sustancias promotoras de la germinación. No así en la vermicomposta 4, la cual tuvo un índice de 57.2% siendo moderadamente tóxica de acuerdo a la clasificación de Martignon [38] (Figura 1). Moldes et al. [52] mencionaron que las gramíneas son menos sensibles que otras especies a la presencia de sustancias tóxicas. Paradelo et al. [37] reportaron que la cebada no es una especie adecuada para discriminar entre vermicompostas fitotóxicas y no fitotóxicas. Sin embargo, Ch'ng et al. [40] reportaron que semillas de maíz presentaron un índice del 80%, lo que sugiere que el proceso de mezclar residuos de hojas de piña triturada, gallinaza y melaza fue libre de sustancias tóxicas y por lo tanto el producto se considera maduro.

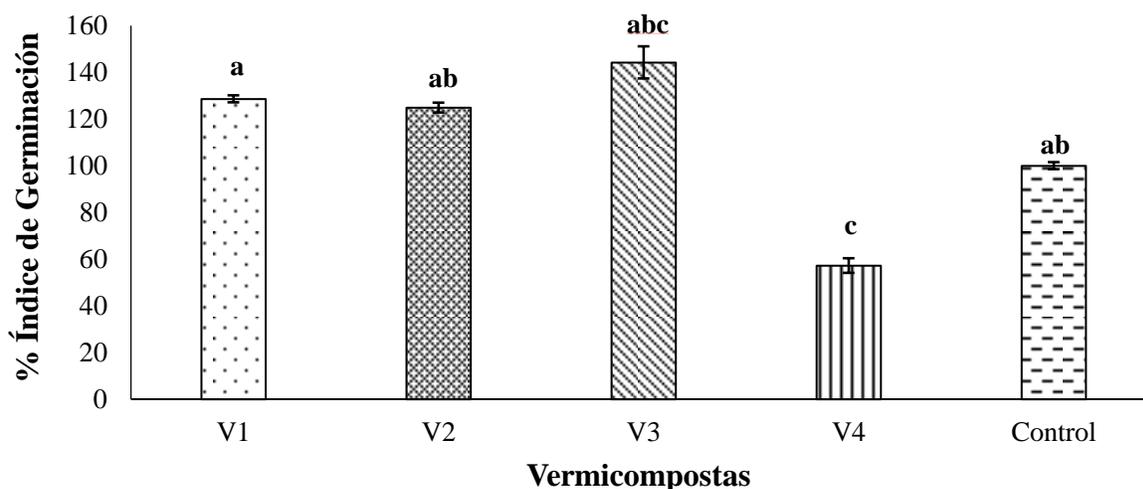


Fig. 1. Índice de germinación de cebada en extractos de vermicompostas. ANOVA + Tukey ($p < 0.05$).

En la prueba con frijol las cuatro vermicompostas presentaron una moderada fitotoxicidad (51-75%) de acuerdo a Martignon [38] (Figura 2). En este caso, las semillas de esta leguminosa fueron más sensibles a los extractos acuosos de los productos. Rivera et al. [53] señalaron que las leguminosas son más susceptibles que las gramíneas a la exposición de sustancias tóxicas y por lo tanto estas especies pueden ser empleadas como bioindicadoras de la madurez de abonos orgánicos.

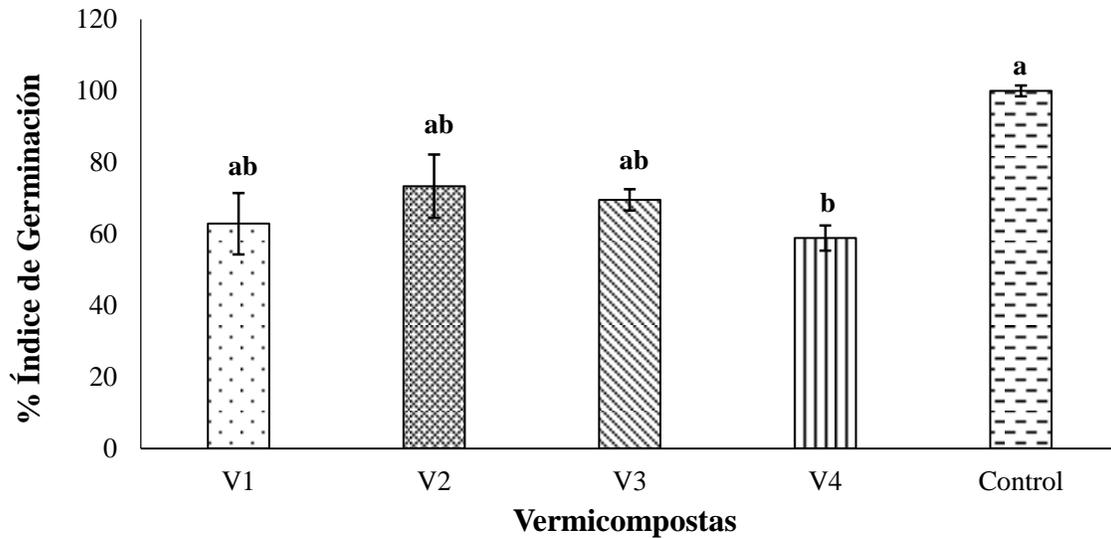


Fig. 2. Índice de germinación de frijol en extractos de vermicompostas. ANOVA + Tukey ($p < 0.05$).

En el caso de las semillas de rábano, el extracto acuoso de la vermicomposta 2 fue la única que presentó un índice de germinación $>100\%$ (Figura 3), lo que indica un efecto de bioestimulación. La respuesta de este estímulo se considera como una alerta potencial, debido a que es a menudo asociada a una respuesta adaptativa de homeostasis para incrementar su defensa natural contra el estrés [54]. Caso contrario, las vermicompostas 1, 3 y 4 ocasionaron una moderada fitotoxicidad (51-75%) para frijol. Estévez et al. [55] reportaron que en lechuga, otra especie de hortaliza, el índice de germinación al evaluar abonos orgánicos fue de 83 a 94%, porcentaje que señala la ausencia de sustancias tóxicas y por lo tanto se podrían aplicar al suelo como mejoradores, estos mismos autores mencionan que las semillas de hortalizas ofrecen excelentes resultados en la prueba de fitotoxicidad.

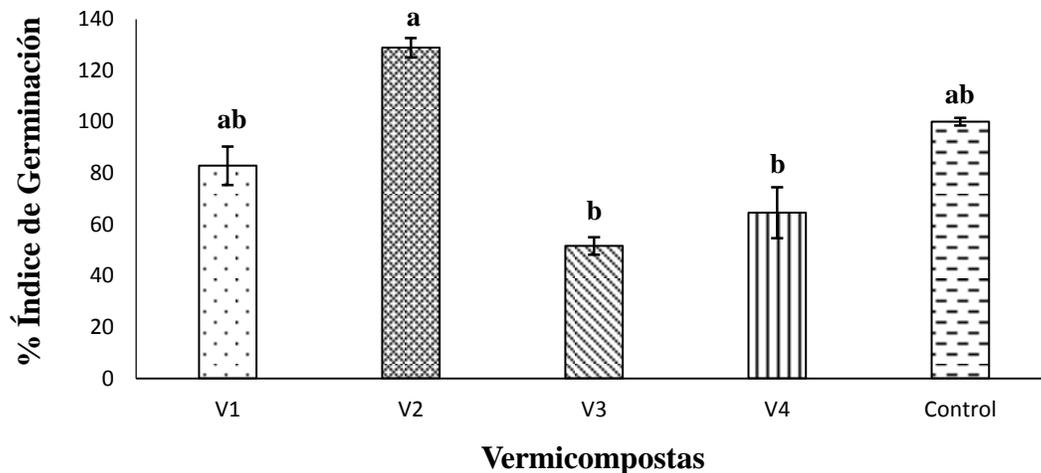


Fig. 3. Índice de germinación de rábano en extractos de vermicompostas. ANOVA + Tukey ($p < 0.05$).

En la tabla II se muestran los resultados de correlación entre los parámetros físicos y químicos con el índice de germinación de las semillas. En cebada se presentaron correlaciones significativas y positivas ($p < 0.05$) entre la prueba de fitotoxicidad y la concentración de materia orgánica, carbono orgánico y fósforo. La única correlación significativa y negativa con rábano se tuvo con la concentración de fósforo, lo que sugiere que a mayor concentración de fósforo disponible en las vermicompostas se obtendrá un decremento en el índice de germinación de las semillas, por lo que es importante verificar la concentración de fósforo en el proceso de vermiestabilización.

El modelo ajustado explica el 37.7% de la variabilidad del índice de germinación de rábano, el coeficiente de correlación es -0.6098 , lo que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables, mientras que para cebada el modelo explica el 47.5% (Tabla III). Betencourt et al. [56] mencionaron que la concentración de fósforo debe estar entre 0.1 y 1.6%, atribuyéndose en cierta medida a que la concentración depende de la cantidad de materia orgánica y el pH del sustrato en el compostaje, debido a que la materia orgánica al descomponerse libera gran cantidad de ácidos orgánicos que solubilizan los fosfatos y el pH provoca que elementos como el aluminio y fierro se neutralicen y permitan la movilización del fósforo. Pero si existe una concentración elevada de éste en los abonos orgánicos, una vez que se incorporen al suelo, saturan los sitios de intercambio, lo que ocasionaría que el fósforo sea estable y por lo tanto menos aprovechable por las raíces de las plantas y microorganismos.

Tabla II. Coeficiente de Pearson entre de la prueba de fitotoxicidad e indicadores de las vermicompostas.

IG	IG			Indicadores						
	Cebada	Rábano	Frijol	pH	CE	MO	C _{orgánico}	C/N	N _{total}	P
Cebada	1.0	0.3832	-0.0260	-0.1255	0.1333	0.4888*	0.4127*	0.2141	0.3570	-0.6894*
Rábano		1.0	0.1862	0.3512	-0.1779	-0.1058	-0.1022	-0.1012	-0.1845	-0.6098*
Frijol			1.0	-0.1590	0.2164	-0.1985	-0.2014	-0.3584	0.0210	0.0169

*correlación significativa ($p < 0.05$).

Tabla III. Regresión lineal entre el índice de germinación y la concentración de fósforo.

Plántula	Nutrimiento	IG = m (x) + b			p
		m	b	R ²	
Cebada	P	-0.6659	397.75	47.5%	0.0000
Rábano		2556.26	160.01	37.7%	0.0003

x = fósforo, m = pendiente, b = intercepto, R² = coeficiente de determinación. * = nivel de significancia al 95%.

IV. CONCLUSIONES

La problemática que se presenta en la generación de los residuos orgánicos es una constante de esta época, las acciones de reciclaje y reducción son procesos físicos y químicos que resultan costosos, por lo que el emplear técnicas de vermiestabilización reduce costos de producción y es una alternativa para descontaminar al ambiente.

Por los indicadores que establece la normatividad mexicana las vermicompostas evaluadas en este trabajo son adecuadas para aplicarlas como enmiendas orgánicas con el fin de mejorar la cantidad de materia orgánica de suelos degradados.

Los bioensayos con semillas probaron que dichas vermicompostas pueden ocasionar una fitotoxicidad moderada a las plantas. Por lo que esta prueba es una herramienta complementaria a la evaluación de indicadores físicos, químicos y biológicos. La prueba de fitotoxicidad con semillas indicó que la vermicomposta 4 que se obtuvo a partir de 40% de lodos lácteos, 20% estiércol y 40% rastrojo de maíz presentó una moderada toxicidad para las tres semillas empleadas en este trabajo (cebada, frijol y rábano) de acuerdo al índice de germinación. Con estos resultados esta vermicomposta se debe aplicar con reservas para mejorar las condiciones de suelos dedicados a la agricultura.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece el apoyo de los proyectos CACyPI-UATx-2014 y UATLX-EXB-245, PROMEP/103.5/13/7051.

REFERENCIAS

- [1] Cayuela M L, Sinicco T, Mondini C. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Appl. Soil Ecol.* 2009, 41: 118-127.
- [2] Peltre C, Christensen B T, Dragon S, Icard C, Kätterer T, Houot S. RothC simulation of carbon accumulation in soil after repeated application of widely different organic amendments. *Soil Biol. Biochem.* 2012, 52: 49-60.
- [3] Saval S. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *BioTecnología*, 2012, 16: 14-46.
- [4] Ruíz M M. Taller de elaboración de lombricomposta [Recurso electrónico]: porque tener lombrices nos beneficia a todos. Universidad Iberoamericana. México, D.F. [http://www.via.mx/web/files/Taller de Lombricomposta](http://www.via.mx/web/files/Taller%20de%20Lombricomposta.pdf). 2011. pdf.
- [5] Almaguer L J, Reyes L V, Reyes H A, Villa P O. Evaluación del efecto del humus líquido obtenido por tres métodos, en condiciones de maceta y de campo, utilizando maíz (*Zea mays* L.) y remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.), respectivamente. *DELOS. Revista Desarrollo Local Sostenible*, 2012, 5: 1-6.
- [6] Sinha R K, Agarwal S, Chauhan K, Chandran V, Soni B K. Vermiculture technology: reviving the dreams of sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Technol. Investments*, 2010, 3: 155-172.
- [7] Santamaría R S. Las lombrices de tierra en los sistemas agrícolas. En: Ferrera C R, Alarcón A. (eds.) *Microbiología agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo* Ed. Trillas, México, D.F. 310-324.pp. 2007.
- [8] Blair J M, Parmelee R W, Allen M F, McCartney D A, Stinner B R. Changes in soil N pools in response to earthworm population manipulations in agroecosystem with different N sources. *Soil Biology Biochemistry*, 1997, 29: 361-367.
- [9] Nagavallema K P, Wani S P, Lacroix S. Vermicomposting: Recycling wastes into valuable organic fertilizer. *J. Agriculture Environ. International Development*, 2005, 99: 188-204.
- [10] Prabna M L, Jayaraai I A, Jeyaraai R, Rao S. Comparative studies on the digestive enzymes in the gut of earthworms, *Eudrilus eugeniae* and *Eisenia foetida*. *Indian J. Biotechnology*, 2007, 6: 567-569.
- [11] Sharma S, Pradham K, Satya S, Vasudevan P. Potentiality of earthworms for waste management and in other Use-A Review. *J. American Sci.* 2005, 1: 4-16.
- [12] Rodríguez S M A, Córdova V A. Manual de compostaje municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT, INE y GTZ. México, D.F. 101 pp. 2006.
- [13] Gunadi B, Blount C, Clive A E. The growth and fecundity of *Eisenia fetida* (Savingny) in cattle solids pre-composted for different periods. *Pediobiologia*, 2002, 46: 15-23.

- [14] Luévano G A, Velásquez G N E. Ejemplo singular en los agronegocios estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso. *Revista Mexicana de Agronomía*, 2001, 9: 306-320.
- [15] Mehta N, Karnwal A. Solid waste management with the help of vermicomposting and its applications in crop improvement. *J. Biol. Earth Sci.* 2013, 3: 8-16.
- [16] Julca O A, Meneses F L, Blas S R, Bello A S. Organic matter, importance, experiences and its role in agriculture. *IDESIA*. 2006, 24: 49-61.
- [17] Cambier P, Pot V, Mercier V, Michaud A, Benoit P, Revallier A, Houot S. Impact of long-term organic residue recycling in agriculture on soil solution composition and trace metal leaching in soils. *Science of the Environment*, 2014, 499: 560-574.
- [18] Campitelli P, Ceppi S. Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2008, 90: 64-71.
- [19] Álvarez de la Puente J M. Estudio sobre mezclas óptimas de material vegetal para compostaje de alperujos en almazaras ecológicas y caracterización físico química de los compost producidos. DGPE. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 2006.
- [20] Suthar S. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecol. Eng.* 2010, 36: 1028-1036.
- [21] DOF, Diario Oficial de la Federación - NMX-FF-109-SCFI-2008. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. 10 de junio 2008. 24 pp. 2008.
- [22] Baumgarten A, Spiegel H. Phytotoxicity (plant tolerance). Agency for Health and Food Safety, Viena Austria. 36 pp. 2004.
- [23] Committee CS/37. Composts, soil conditioners and mulches AS 4454-1999. Standards, Australia, Homebush, Australia. 1999.
- [24] TMECC. Test methods for the examination of composting and compost. US Composting Council, Holbrook, NY. 2001.
- [25] FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization). Methods book for the analysis of compost. Abfall Now e. V. Publishing House, Stuttgart, Germany. 1994.
- [26] POGEM. Norma Técnica Estatal Ambiental - NTE-006-SMA-RS-2006. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Toluca de Lerdo, México. 9 de Octubre de 2006. No. 71. 64 pp. 2006.
- [27] Baderna D, Colombo A, Amodei G, Cantú S, Teoldi F, Cambria F, Rotella G, Natolino F, Lodi M, Benfenati E. Chemical-based risk assessment and in vitro models of human health effects induced by organic pollutants in soils from the Olona valley. *Sci. Total Environ.* 2013, 463-464: 790-801.
- [28] Visioli G, Menta C, Gard C, Conti D F. Metal toxicity and biodiversity in serpentine soils: Application of bioassay tests and microarthropod index. *Chemosphere*, 2013, 90: 1267-1273.
- [29] Jackson M L. Análisis químico de suelos. Trad. al español por M. J. Beltrán. 3ª. Ed. Omega. Barcelona, España. 622 pp. 1976.
- [30] Richards L A. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª. ed. Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Editorial Limusa, México. D.F. 1990.
- [31] Chapman H D. Cation exchange capacity. En: Black C A (ed.). *Methods of analysis. Part 2. Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1965.
- [32] Bremner J M. Total nitrogen. En: Black C A (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2 Agronomy 9.* American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 1965. 1149-1178 pp.
- [33] DOF, Diario Oficial de la Federación - NMX-AA-67-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la relación carbono/nitrógeno. 6 de Noviembre de 1992. 2 pp. 1992.

- [34] Bray R H, Kurtz L T. Determination of total, organic, and available phosphorus in soil. *Soil Sci.* 1945, 59: 39-45.
- [35] EPA, Environmental Protection Agency. Method 3051. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. 30 pp. 1998.
- [36] OECD, Organization for Economic Cooperation and Development. Terrestrial plants test: seedling emergence and seedling growth test. Guideline for testing of chemicals. No. 208. Paris, Francia. 21 pp. 2006.
- [37] Paradelo R, Moldes A B, Rodríguez M, Barral M T. Relationship between heavy metals and phytotoxicity in composts. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 2008, 6: 143-151.
- [38] Martignon G. Linee guida per la misura della tossicità dei suoli. Test di fitotossicità per il suolo. CESI RICERCA-ASV Ambiente e Sviluppo Sostenibile. Disponible en: <http://doc.rse-web.it/doc/doc-sfogli/09000808-1996/09000808-1996>. 2009. html.
- [39] Stat Point Technologies. Statgraphics Centurion XVI. Software estadístico versión en español. United States of America. 2011.
- [40] Ch'ng H V, Ahmed O H, Kassim S, Majid N M A. Co-composting of pineapple leaves and chicken manure slurry. *International J. Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 2013, 2:1-8.
- [41] Emino E R, Warman P R. Biological assay for compost quality. *Compost Science and Utilization*, 2004, 12: 342-348.
- [42] Negi R, Suthar S. Vermistabilization of paper mill wastewater sludge using *Eisenia foetida*. *Biores. Technol.* 2013, 128: 193-198.
- [43] Majlessi M, Eslami A, Saleh N H, Mirshafieean S, Babaii S. Vermicomposting of food waste: assessing the stability and maturity. *Iranian J. Environ. Health Sci. Engineering*, 2012, 9:1-6.
- [44] Soto G, Meléndez G. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. En: Soto G, Meléndez G, Uribe L (eds.). *Abonos orgánicos: Principios, aplicaciones e impacto en la Agricultura*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Costa Rica. 59 pp. 2003.
- [45] Pérez G L C, García G E, Vázquez C O, Zamora C E, Hernández A E, Juárez S L, García N E. Grano de café y lombricomposta como una alternativa de rehabilitación para tepetate. En: Gómez C M A, Vázquez C O, Zamora C E (Compiladores). *Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México*. 45-57 pp. 2011.
- [46] Olivares C M A, Hernández R A, Vences C C, Jáquez B J L, Ojeda B D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y Ciencia*, 2012, 28: 27-37.
- [47] Barik T, Gulati J M L, Garnayak L M, Bastia D K. Production of vermicompost from agricultural wastes – a review. *Agric. Reviews*, 2011, 31: 172-183.
- [48] Suthar S, Sharma P. Vermicomposting of toxic weed-Lantana camara biomass: Chemical and microbial properties changes and assessment of toxicity of end product using seed bioassay. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2013, 95: 179-187.
- [49] Núñez E R. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. En: Alcántar G G, Trejo T L I (Coordinadores). *Nutrición de cultivos*. Mundi-Prensa México S. A. de C. V. y Colegio de Postgraduados. México, D F. 438 pp. 2007.
- [50] Basanta R, García M A, Cervantes M J E, Mata V H, Bustos V G. Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la industria azucarera: una revisión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 2007, 5: 293-300.
- [51] Del Águila J P, Lugo de la Fuente J, Vaca P R. Vermicomposting as a process to stabilize organic waste and sewage sludge as an application for soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2011, 14: 949-963.
- [52] Moldes A B, Vázquez M, Domínguez J M, Díaz F F, Barral M T. Evaluation of mesophilic biodegraded grape marc as soil fertilizer. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2007, 141: 27-36.

- [53] Rivera C M C, Trujillo N A, Miranda C M A, Maldonado C E. Evaluación toxicológica de suelos contaminados con petróleo nuevo e intemperizado mediante ensayos con leguminosas. *Interciencia*, 2005, 30: 326-331.
- [54] Calabrese E J, Baldwin L A. The hermetic dose-response model is more common than the threshold model in toxicology. *Toxicol. Sci.* 2003, 71: 246-250.
- [55] Estévez S I, Seoane L S, Núñez D A, López M M E. Production and characterization of compost made from garden and other waste. *Pol. J. Environ. Stud.* 2012, 21: 855-864.
- [56] Betencourt E, Duputel M, Coloma B, Desclaux D. y Hinsinger P. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol. Biochem.* 2012, 46: 181.190.