

Evaluation of biofertilizers based on microorganisms and vermicompost leachate in crops of economic interest in Mexico

Evaluación de biofertilizantes a base de microorganismos y lixiviado de vermicomposta en cultivos de interés económico en México

Guardiola-Márquez, Carlos Esteban¹, Pacheco Moscoa, Adriana², Senés-Guerrero, Carolina^{1*}

¹Tecnológico de Monterrey, Centro de Biotecnología-FEMSA, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Campus Guadalajara. General Ramón Corona 2514, Zapopan, Jalisco, México. C. P. 45138. ²Tecnológico de Monterrey, Centro de Biotecnología-FEMSA, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Campus Monterrey. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey, Nuevo León, México. C. P. 64849.

*Autor para correspondencia: carolina.senes@tec.mx

ABSTRACT

Objective: Characterize the effect of a biofertilizer based on vermicompost leachate (VCL) on valuable Mexican crops, formulated in combination with: i) a recommended dose of chemical fertilizer (NPK), ii) a mixture of two commercial products containing plant growth promoting microorganisms and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and iii) molasses.

Design/methodology/approach: Four treatments were evaluated: T1 (VCL, microorganisms, without molasses and without NPK), T2 (VCL, microorganisms, without molasses and with NPK), T3 (only with NPK) and T4 (VCL, microorganisms, molasses and without NPK), distributed in 128 pots where eight species of crops with 4 replicates each were planted (tomato, pepper, sorghum, bean, peas, corn, squash and watermelon) at greenhouse conditions. After 6 weeks of cultivation, the effect of the biofertilizers was quantified according to the parameters of plant height and number of leaves. Analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test were used to determine statistical significance.

Results: Treatments T1 and T2 presented the best effects in plant growth for most plants. Watermelon showed better response to T3 whereas in corn insignificant effects were observed. Treatment T4 showed a negative influence on the development of all crops, attributed to the incorporation of molasses.

Limitations on study/implications: The study was carried out in a short period of time where it was not possible to evaluate fruit production.

Findings/conclusions: VCL combined with plant growth promoting bacteria and AMF, have positive effects on growth of tomato, pepper, sorghum, bean, pea and squash; being able to reduce traditional chemical fertilization by 35% without reducing crop yields.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, biofertilizers, *Eisenia foetida*, plant growth promoting microorganisms, vermicompost leachate.

RESUMEN

Objetivo: Caracterizar el efecto de un biofertilizante a base de lixiviado de vermicomposta (VCL) en cultivos de relevancia en México, formulado en combinación con: i) fertilizante químico (NPK), ii) una mezcla de dos productos comerciales con microorganismos promotores del crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y iii) melaza.

Diseño/metodología/aproximación: Cuatro tratamientos fueron evaluados: T1 (VCL, microorganismos, sin melaza y sin NPK), T2 (VCL, microorganismos, sin melaza y con NPK), T3 (únicamente con NPK) y T4 (VCL, microorganismos, melaza y sin NPK), distribuidos en 128 macetas sembradas con ocho especies de cultivos (tomate, chile, sorgo, frijol, chícharo, maíz, calabaza y sandía) (4 réplicas por cultivo) bajo condiciones de invernadero. Después de 6 semanas, se midió la altura de la planta y número de hojas. La significancia estadística se determinó mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

Resultados: Los tratamientos T1 y T2 presentaron los mejores efectos en la mayoría de las plantas. La sandía mostró una mejor respuesta a T3 y en maíz no se observaron efectos significativos. T4 tuvo una influencia negativa en el desarrollo de todos los cultivos, atribuido a la incorporación de melaza.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El estudio se llevó a cabo en un corto período de tiempo y no fue posible evaluar la producción de fruto.

Hallazgos/conclusiones: El VCL combinado con bacterias promotoras de crecimiento y HMA tiene efectos positivos en el crecimiento de tomate, chile, sorgo, chícharo y calabaza; pudiendo reducir la fertilización química en un 35% sin disminuir el rendimiento.

Palabras Clave: Biofertilizantes, *Eisenia foetida*, hongos micorrízicos arbusculares, lixiviado de vermicomposta, microorganismos promotores del crecimiento de plantas.

que regulan numerosas vías metabólicas involucradas en el desarrollo de la planta (Bidabadi *et al.*, 2017; Ayyobi *et al.*, 2014; Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008). Esta mezcla además incorpora microorganismos involucrados en procesos de nitrificación, solubilización de minerales del suelo, degradación de materia orgánica y eliminación de patógenos (Donohoe, 2017; Fritz *et al.*, 2012; Casco e Iglesias, 2005).

Generalmente, el lixiviado se usa diluido para evitar el daño a las plantas, ya que se ha demostrado que a alta concentración inhibe la germinación y el crecimiento de las plantas, sin embargo, esta dilución disminuye la cantidad de nutrientes, por lo que debe complementarse con fertilizantes químicos para obtener un desarrollo óptimo de la planta (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2017; Ayyobi *et al.*, 2014). Gutiérrez-Miceli *et al.* (2008, 2017) encontraron que la aplicación de lixiviado de vermicomposta combinado con dosis de 140 a 170 g L⁻¹ de fertilizante químico NPK Triple 17 incrementó el desarrollo y rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y caña de azúcar (*Saccharum* sp.). Ansari (2008) reportó que el VCL tiene un efecto significativo en el rendimiento de espinaca (*Spinacia oleracea*) y cebolla (*Allium cepa*) utilizado en dilución 1:5 y 1:10 (v/v) en agua, respectivamente. Aremu *et al.* (2012) evaluó la aplicación de VCL en plátanos cultivados en condiciones de invernadero, concluyendo que la aplicación de diluciones 1:5 y 1:10 es positiva para la planta. Resultados similares fueron reportados por Ayyobi *et al.* (2014) y Singh *et al.* (2014) en el rendimiento y desarrollo del frijol enano francés (*Phaseolus vulgaris* L.). Otras investigaciones que atribuyen buenos resultados al efecto de VCL

INTRODUCCIÓN

El incremento masivo de la población y la creciente demanda de alimentos ha conducido a la intensificación de la agricultura, lo cual ha tenido consecuencias negativas en el medio ambiente. Actualmente, se diseñan estrategias dirigidas hacia la agricultura sostenible con rendimientos de producción competitivos mediante la aplicación de sustancias orgánicas y biofertilizantes (Bender *et al.*, 2016; Gupta *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2015).

El lixiviado de vermicomposta (VCL), también se conoce como "té de lombriz" o "té de humus", es un líquido resultante del paso del agua a través de un sistema donde las lombrices producen la vermicomposta, generada por el proceso de descomposición de sustancias orgánicas complejas y de alta energía (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2017, 2008). El VCL contiene una combinación de sustancias excretoras y secretoras de las lombrices y micronutrientes y moléculas del suelo tales como potasio, nitrógeno, manganeso y zinc (Kandari *et al.*, 2011; Ansari, 2008). Además, contiene ácidos húmicos y fúlvicos

incluyen especies de *Eucalyptus* (Kandari et al., 2011), *Eucomis autumnalis*, *Tulbaghia ludwigiana* y *Tulbaghia violacea* (Aremu et al., 2014), maíz (*Zea mays* L.) (García-Gómez et al., 2008), tomate (Arthur et al., 2012), chile (*Capsicum annuum*) y cebolla (*Allium cepa*) (Álvarez-Solis et al., 2016). El lixiviado de vermicomposta también se ha asociado con la tolerancia al estrés abiótico, principalmente estrés salino (Bidabadi et al., 2017), estrés hídrico y térmico (Chinsamy et al., 2014, 2013).

Debido a los efectos positivos reportados del lixiviado de vermicomposta en el crecimiento y desarrollo de las plantas, el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de VCL en diferentes cultivos de interés económico en México. Así como probar diferentes formulaciones para aumentar la efectividad del VCL, incluyendo una dosis recomendada de fertilizante químico (NPK), una mezcla de microorganismos benéficos del suelo producidos comercialmente y melaza como aditivo para mejorar el desarrollo de los microorganismos aplicados a los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lixiviado de vermicomposta. Para la producción del lixiviado de vermicomposta (VCL) se cultivó lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en una cama de cemento de 8.5×3.0 m y 0.8 m de profundidad. La estructura posee una pendiente de 0.4 m para facilitar la recolección del lixiviado, el cual es drenado hasta un contenedor de 1000 L donde posteriormente es bombeado y filtrado para su utilización. El sustrato para el compostaje consistió en 70% de composta de estiércol de vaca, 10% de cáscara de nuez y 20% de paja, cada 15 días se agregó una capa de 10-15 cm de espesor de sustrato nuevo. Se instaló un sistema de riego por aspersión que fue activado cada 3 días durante 10 minutos. La temperatura se mantuvo entre 20 y 30 °C, y la humedad entre 65 y 80 %.

El inóculo inicial fue de 10 sacos de 25 L de una mezcla de sustrato y lombrices.

Después de 2 meses, el lixiviado presentó un pH de 6.3, densidad de 1 g cm⁻³, 0.34% de materia orgánica, 0.19% de carbono y 1.06% de nitrógeno total.

Compuestos químicos y biofertilizantes. El fertilizante químico se formuló a partir de urea, ácido fosfórico y sulfato de potasio en relación 3:1:1 (p/v/p), disuelto en 20 L de agua. Los compuestos fueron obtenidos a granel de Agroquímicos Palmar S. de R.L. (Guadalajara, Jalisco, México). Se utilizó el producto Biobacil[®] como fuente de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas, el cual posee como ingrediente activo 10 millones UFC mL⁻¹ de *Bacillus subtilis*. El producto Glumix[®] formulado con esporas de *Glomus geosporum*, *G. fasciculatum*, *G. constrictum*, *G. tortuosum* y *G. intraradices*, fue empleado como fuente de hongos micorrízicos arbusculares. La melaza fue adquirida de Forrajera San Cristóbal S.A. de C.V. (Zapopan, Jalisco, México).

Formulación de tratamientos de fertilizantes. Los tratamientos de fertilizantes se prepararon en contenedores de 20 L según la demanda. La formulación de cada tratamiento se presenta en el Cuadro 1, considerando 20 L como el 100%.

Diseño de experimento. El experimento consta de un total de 128 macetas (bolsa de plástico para invernadero de 20×20×30 cm) donde se evaluó el efecto de cuatro formulaciones de fertilizante a base de lixiviado de vermicomposta en 8 especies de cultivos agrícolas que representan cuatro familias de plantas (Cuadro 2). Se seleccionaron aquellos cultivos con un periodo de desarrollo aproximado de 2 a 3 meses. Cada experimento se realizó con cuatro replicas por cultivo.

El efecto del fertilizante en el desarrollo de las plantas fue evaluado considerando los parámetros de altura de la planta (medida en centímetros) y número de hojas a las seis semanas de cultivo.

Cuadro 1. Porcentaje de cada componente en la formulación de los tratamientos.

Componente	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Lixiviado de vermicomposta	25%	25%	-	25%
Microorganismos ^a	2.5%	2.5%	-	2.5%
Melaza	-	-	-	2.5%
Fertilizante químico (NPK)	-	65%	100%	-
Agua	72.5%	7.5%	-	70%

^a La dosis de microorganismos fue establecida según las indicaciones del producto.

Establecimiento y cultivo de plantas en invernadero.

Cada maceta contenía una mezcla 3:1 perlita y turba (v/v). Se sembraron tres semillas por maceta, a una profundidad de 2 a 4 cm. Se emplearon semillas certificadas obtenidas de Distribuidora Rancho los Molinos, S.A. de C.V. (Jalisco, México).

El experimento se mantuvo en condiciones de invernadero sin control de temperatura, con una temperatura ambiental media de 26 °C. El riego se estandarizó a 500 mL dos veces por semana utilizando agua potable. La fertilización se inició posterior a la emergencia de las dos primeras hojas verdaderas, inicialmente se aplicaron 500 mL de fertilizante semanalmente durante tres semanas. Luego, la dosis se incrementó a un litro por semana durante otras tres semanas, completando el experimento en un total de 6 semanas.

Análisis estadístico. Los datos de altura de la planta y número de hojas fueron analizados por especie, utilizando análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para comparar las medias y determinar si existe un efecto significativo de los tratamientos sobre el crecimiento de la planta. El nivel de significancia fue $P < 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó el efecto de cuatro tratamientos a base de lixiviado de vermicomposta en el crecimiento (altura y número de hojas) de plantas de tomate, chile, sorgo, frijol, chícharo, maíz, calabaza y sandía. En general, en cinco de los ocho cultivos (tomate, chile, sorgo, chícharo y calabaza), los tratamientos T1 (VCL, microorganismos, sin melaza y sin NPK) y T2 (VCL, microorganismos, sin melaza y con NPK) fueron los que presentaron los valores más elevados en la altura de las plantas (Figura 1). En los cultivos de maíz y frijol los tratamientos no tuvieron una diferencia significativa en la altura (Figura 1d-e).

El mayor número de hojas se registró con T1 en los cultivos de tomate, sorgo, frijol, chícharo y sandía, y con T2 para el chile (Figura 2). El número de hojas en los cultivos de maíz y calabaza no mostró un efecto estadísticamente significativo de las diferentes formulaciones de fertilizantes (Figura 2d, g). En todas las plantas, el tratamiento T4 (VCL, microorganismos, melaza y sin NPK) fue el que mostró los menores rendimientos en altura y número de hojas (Figura 1 y 2), provocando la muerte del 47% del total de plantas, donde los cultivos más afectados fueron tomate, chile y chícharo (Figura 1a-b, f y 2a-b, f).

Cuadro 2. Familias y especies de los cultivos agrícolas evaluados.

Familia	Especie	Nombre común
Poaceae	<i>Zea mays</i>	Maíz
	<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Frijol
	<i>Pisum sativum</i>	Chícharo
Cucurbitaceae	<i>Citrullus lanatus</i>	Sandía
	<i>Cucurbita pepo</i>	Calabaza
Solanaceae	<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate
	<i>Capsicum annum</i>	Chile

Las plantas de tomate alcanzaron una altura en promedio, según el tratamiento, en un rango de 3.4 a 39.8 cm, donde T1 y T2 presentaron los mejores rendimientos, sin diferencia estadística entre estas dos formulaciones de fertilizante (Figura 1a). Sin embargo, T1 se diferenció estadísticamente de T3 y T4. Respecto al número de hojas, T1 y T2 también destacan significativamente en comparación con T3 y T4 (Figura 2a).

El cultivo de chile alcanzó una altura entre 2 y 16 cm, y el efecto de los tratamientos fue semejante al del tomate. Los tratamientos T1 y T2 mostraron el mayor crecimiento, pero únicamente T1 se diferencia estadísticamente de T3 y T4 (Figura 1b). El número de hojas del cultivo presenta mejores resultados con T2, sin mostrar semejanza estadística con alguno de los tratamientos (Figura 2b).

El crecimiento del sorgo se mantuvo entre los 26 y 86 cm, a pesar de que los tratamientos presentan efectos estadísticamente similares, el T2 resultó con una media de valores más altos (Figura 1c), así como T1 respecto al número de hojas (Figura 2c).

Respecto a las diferentes formulaciones de fertilizante, el maíz y frijol no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la altura (Figura 1d-e). El número de hojas no resultó un parámetro significativo para diferenciar los tratamientos en maíz (Figura 2d), sin embargo, en el cultivo de frijol si hubo una diferencia estadística, destacando T1 con los mejores resultados, que a pesar de tener el mismo efecto estadístico respecto a T2 y T3, hay una reducción en el número de hojas del 34 y 27%, respectivamente (Figura 2e).

Las plantas de chícharo crecieron entre 14 y 71 cm, donde la mayor altura se obtuvo con el tratamiento T1, a pesar de que no hubo diferencia significativa entre T1, T2

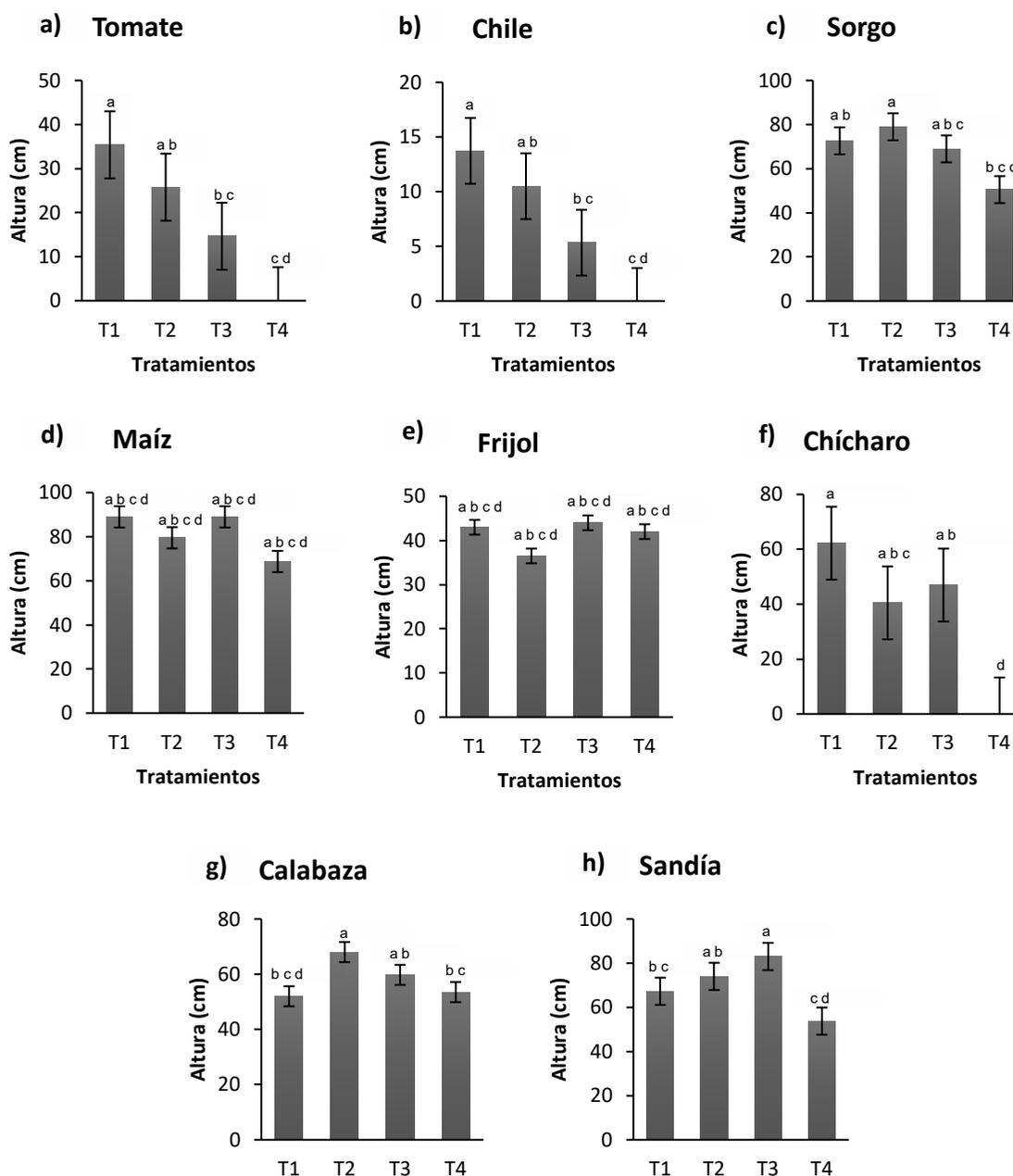


Figura 1. Altura de la planta (cm) como parámetro para cuantificar el efecto de las formulaciones de fertilizante. a) Tomate, b) Chile, c) Sorgo, d) Maíz, e) Frijol, f) Chicharo, g) Calabaza, h) Sandía.

y T3, la media de la altura tiene una diferencia de 18 cm con respecto a T2 y 10 cm con T3 (Figura 1f). El número de hojas exhibe valores máximos con T1, aunque no hay diferencia significativa contra T3 (Figura 2f).

La calabaza mantuvo su desarrollo entre los 45 y 70 cm, mostrando una respuesta sobresaliente con T2 y T3 (Figura 1g). El número de hojas fue similar entre todos los tratamientos (Figura 2g).

Debido a la anatomía de la planta de sandía, los parámetros evaluados se midieron de manera paralela al suelo

partiendo del eje central de la planta, alcanzando entre 49 y 98 cm. Los valores máximos fueron con T3, sin arrojar una diferencia significativa con T2 (Figura 1h). T1 y T3 cuentan con los valores más altos de número de hojas (Figura 2g).

En general, los tratamientos que destacaron por ser más efectivos en promover el crecimiento y desarrollo de los cultivos fueron T1 y T2. Su composición es en base a compuestos orgánicos (lixiviado de vermicomposta y la adición de microorganismos benéficos del suelo) y en el tratamiento T2 también se cuenta con una fracción

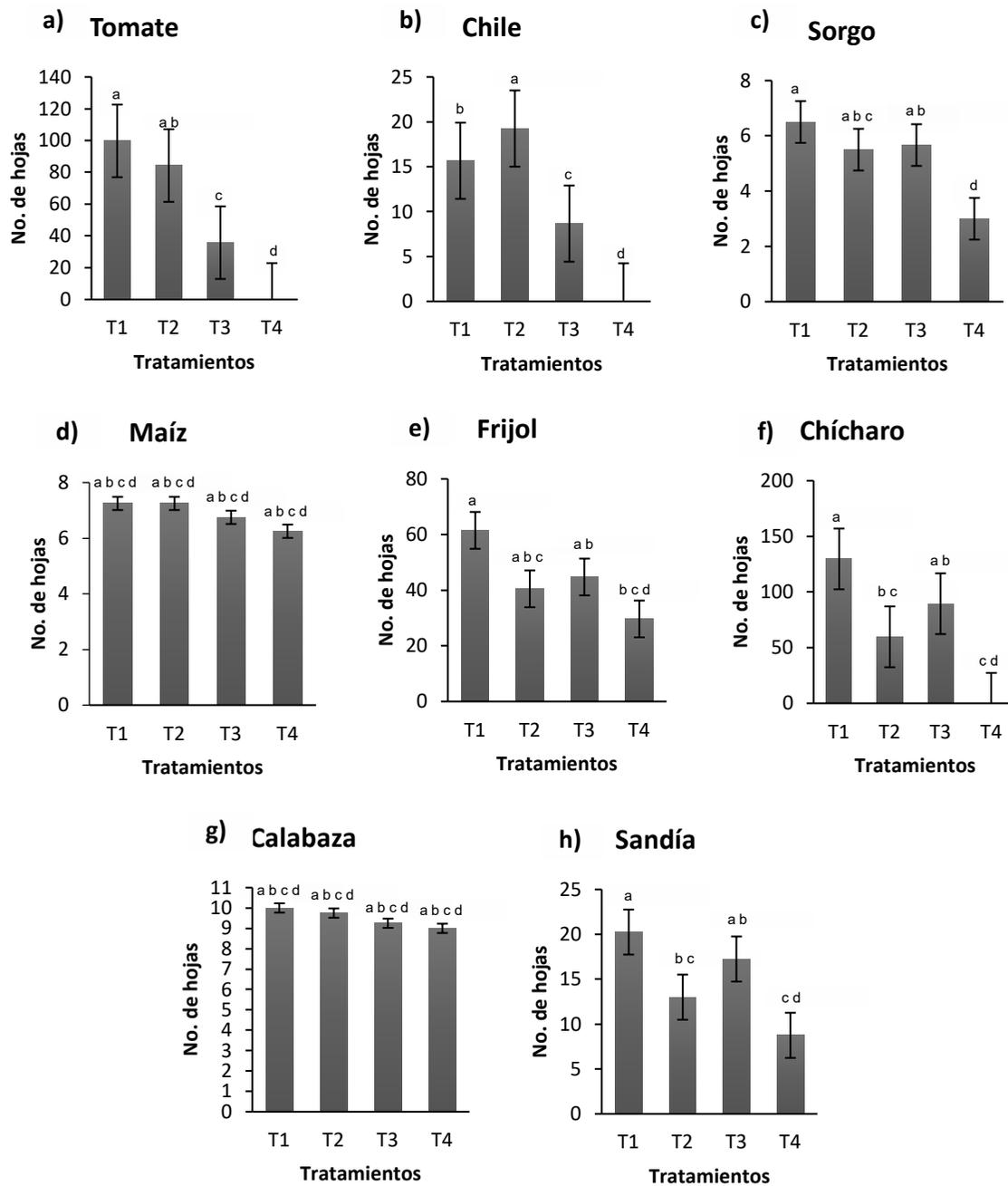


Figura 2. Número de hojas como parámetro para cuantificar el efecto de las formulaciones de fertilizante. a) Tomate, b) Chile, c) Sorgo, d) Maíz, e) Frijol, f) Chícharo, g) Calabaza, h) Sandía.

química (NPK) del 65%. Esta formulación fue diseñada siguiendo lo indicado por Gutiérrez-Miceli *et al.* (2017, 2008) y García-Gómez *et al.* (2008) en donde se recomienda complementar el lixiviado de vermicomposta con una solución nutritiva de NPK para lograr alcanzar el máximo rendimiento de los cultivos. Al utilizar VCL como fertilizante líquido deben realizarse diluciones para evitar dañar a las plantas dado que el lixiviado puro contiene elevadas concentraciones de sales y ácidos húmicos que pueden comprometer el desarrollo de las plantas al reducir parcialmente la absorción de N, P y K.

Esto es debido al incremento en los niveles de sustancias similares a auxinas y giberelinas presentes en el lixiviado que inhiben el metabolismo de sales y ácidos húmicos (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2017, 2008; García-Gómez *et al.*, 2008). Por otro lado, diluir el lixiviado también puede restringir el crecimiento de las plantas debido a que se reduce la concentración de elementos esenciales (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2017, 2008; Jarecki *et al.*, 2005). En contraste, en este estudio empleando la dilución recomendada 1:4 de VCL en el tratamiento T1 no se observaron síntomas de deficiencia nutricional en las plantas. Por el

contrario, fue uno de los tratamientos que lograron los valores más altos con efectos estadísticamente significativos en los parámetros cuantificados. Este efecto podría atribuirse a la función del suplemento compuesto de microorganismos del suelo y a las condiciones controladas en las que crecieron las plantas (tipo de sustrato, riego y temperatura), ya que, de haberse llevado a cabo en campo, en suelos posiblemente degradados o con deficiencia de nutrientes, el aporte extra de NPK pudiera ser significativo. Sin embargo, en suelos sobrefertilizados, o con un exceso de nutrientes, el efecto microbiano no se distinguiría (Aremu et al., 2012). Cabe mencionar que se ha demostrado que el lixiviado de vermicomposta también se ha asociado con la tolerancia al estrés abiótico, principalmente estrés salino (Bidabadi et al., 2017), estrés hídrico y térmico (Chinsamy et al., 2014, 2013), por lo que las variaciones en las condiciones medioambientales pueden ser amortiguadas por el efecto del VCL.

Los microorganismos del suelo colonizan las raíces y desempeñan funciones muy importantes para las plantas; mejoran la fertilidad y estructura del suelo, participan en la descomposición de materia orgánica, promueven el crecimiento de las plantas, combaten patógenos del suelo, etc. Específicamente, las bacterias promotoras de crecimiento, como la cepa de *Bacillus subtilis* utilizada en este estudio, facilitan la disponibilidad y captación de nutrientes mediante mecanismos de fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes minerales, producción de fitohormonas y mineralización de compuestos orgánicos (Bender et al., 2016; Gupta et al., 2015; Kumar et al., 2015). Así mismo, los hongos micorrízicos arbusculares incrementan la movilización y transporte de nutrimentos, proveen tolerancia a estrés abiótico (estrés hídrico y salino), estimulan la producción de hormonas vegetales, optimizan el enraizamiento y establecimiento de las plantas y mejoran la fertilidad y calidad del suelo (Lauriano-Barajas y Vega-Frutis, 2018; Armada et al., 2016; Azcón et al., 2013; Azcón y Barea, 2010).

El uso excesivo de fertilizantes químicos es nocivo para el establecimiento de la microbiota del suelo (Gupta et al., 2015) dado que más del 50% del fertilizante aplicado no es aprovechado por las plantas y causa severos problemas de contaminación de agua, suelo y aire (FAO, 2015). Por tal motivo, la respuesta positiva de los tratamientos T1 y T2, que mostraron mejores rendimientos en la mayoría de los cultivos con respecto a T3 y T4, permite establecer que los biofertilizantes (T1 y T2) tienen efectos comparables en el rendimiento de las plan-

tas con respecto al tratamiento T3 (NPK). Si T2 se toma como referencia, significa que con una reducción del 35% en la dosis de fertilizante químico, combinándose con lixiviado de vermicomposta y microorganismos del suelo, se logra una respuesta igual o mayor en el desarrollo de las plantas con respecto al tratamiento de 100% de fertilizante químico (Tratamiento 3).

Como se mencionó previamente, tanto los microorganismos como los ácidos húmicos presentes en el lixiviado de lombriz son de relevancia para mejorar la absorción y el aprovechamiento de micro y macronutrientes, y hacer posible la reducción de la dosis química (Manyuchi et al., 2013; Gutiérrez-Miceli et al., 2008).

Finalmente, argumentando el efecto negativo del tratamiento T4, que a pesar de ser muy similar a T1, el componente de la melaza fue el factor determinante en el bajo rendimiento de las plantas, posiblemente debido a la concentración empleada, siendo el 2.5% (0.5 L en 20 L). El uso y dosificación de la melaza fueron basados en los trabajos de Suliasih y Widawati (2017), Cáceres Ortuño (2017), Álvarez-Solís et al. (2016), Álvarez-Hernández et al. (2011) y Lee (2010), sin embargo, se han reportado investigaciones que señalan que elevadas concentraciones de melaza reducen el crecimiento de las raíces y las plantas, posiblemente debido a la concentración de solutos en exceso y la modificación del pH de la solución (Suliasih y Widawati, 2017; Şanlı et al., 2015).

Futuras investigaciones serán necesarias para evaluar el efecto del biofertilizante en suelos donde se practica regularmente la agricultura, ya que se estima que una cuarta parte de los suelos del planeta presenta algún grado de degradación; se trata de suelos con pérdida en la capacidad productiva y fertilidad, bajo porcentaje de materia orgánica y nutrimentos, desertificación y reducción de la biodiversidad (Bender et al., 2016). En este sentido, se plantea la hipótesis de que posiblemente en este escenario sí exista una diferencia más marcada entre la efectividad del tratamiento 1 y 2, ya que en estas condiciones prevalece la necesidad de aporte de nutrimentos debido al empobrecimiento del suelo.

CONCLUSIONES

La agricultura sostenible es una práctica que ha ganado importancia en los últimos años debido al impacto ambiental generado por la agricultura tradicional. El uso de compuestos nutritivos como el lixiviado de vermicomposta y los microorganismos benéficos del suelo ayudan

a reducir el uso de fertilizantes químicos y a restaurar la estructura del suelo y los ecosistemas. En este estudio, se llegó a la conclusión de que los dos tratamientos más efectivos para mejorar el desarrollo de los cultivos evaluados fueron T1 y T2, ambos biofertilizantes compuestos por lixiviado de vermicomposta, microorganismos del suelo [bacterias promotoras de crecimiento (*Bacillus subtilis*) y hongos micorrízicos arbusculares (consorcio de especies del género *Glomus*)], diferenciados únicamente por la dosis química presente en T2. A lo largo del experimento, el T4, a pesar de ser muy similar al T1, diferenciándose únicamente por el contenido de melaza, produjo los peores efectos para las plantas, causando la muerte de un elevado porcentaje de ellas, atribuyendo este efecto a la cantidad de solutos adicionales al añadir la melaza, así como su influencia sobre el pH de la solución final.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Hernández, J.C., Venegas-Flores, S., Soto-Ayala, C., Chávez-Vargas, A., & Zavala-Sánchez, L. (2011). Uso de fertilizantes químicos y orgánicos en cebolla (*Allium cepa* L.) en Apatzingán, Michoacán, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15(2).
- Álvarez-Solis, J.D., Mendoza-Núñez, J.A., León-Martínez, N.S., Castellanos-Albores, J., & Gutiérrez-Miceli, F.A. (2016). Effect of bokashi and vermicompost leachate on yield and quality of pepper (*Capsicum annum*) and onion (*Allium cepa*) under monoculture and intercropping cultures. *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(2), 243-252.
- Ansari, A.A. (2008). Effect of vermicompost and vermivash on the productivity of spinach (*Spinacia oleracea*), onion (*Allium cepa*) and potato (*Solanum tuberosum*). *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 554-557.
- Aremu, A.O., Kulkarni, M.G., Bairu, M.W., Finnie, J.F., & Van Staden, J. (2012). Growth stimulation effects of smoke-water and vermicompost leachate on greenhouse grown-tissue-cultured 'Williams' bananas. *Plant Growth Regulation*, 66(2), 111-118.
- Aremu, A.O., Masondo, N.A., & Van Staden, J. (2014). Physiological and phytochemical responses of three nutrient-stressed bulbous plants subjected to vermicompost leachate treatment. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(3), 721-731.
- Armada, E., Probanza, A., Roldán, A., & Azcón, R. (2016). Native plant growth promoting bacteria *Bacillus thuringiensis* and mixed or individual mycorrhizal species improved drought tolerance and oxidative metabolism in *Lavandula dentata* plants. *Journal of plant physiology*, 192, 1-12.
- Arthur, G.D., Aremu, A.O., Kulkarni, M.G., & Van Staden, J. (2012). Vermicompost leachate alleviates deficiency of phosphorus and potassium in tomato seedlings. *HortScience*, 47(9), 1304-1307.
- Ayyobi, H., Hassanpour, E., Alaqemand, S., Fathi, S., Olfati, J. A., & Peyvast, G. (2014). Vermicompost leachate and vermivash enhance French dwarf bean yield. *International Journal of Vegetable Science*, 20(1), 21-27.
- Azcón, R., & Barea, J.M. (2010). Mycorrhizosphere interactions for legume improvement. In *Microbes for legume improvement* (pp. 237-271). Springer, Vienna.
- Azcón, R., Medina, A., Aroca, R., & Ruiz-Lozano, J.M. (2013). Abiotic stress remediation by the arbuscular mycorrhizal symbiosis and rhizosphere bacteria/yeast interactions. *Molecular Microbial Ecology of the Rhizosphere*, 1, 991-1002.
- Bender, S.F., Wagg, C., & van der Heijden, M.G. (2016). An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440-452.
- Bidabadi, S.S., Dehghanipoodeh, S., & Wright, G.C. (2017). Vermicompost leachate reduces some negative effects of salt stress in pomegranate. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(3), 255-263.
- Cáceres Ortuño, J. M. (2017). Evaluación del efecto de *Trichoderma harzianum* y bokashi en la producción de cebolla *Allium cepa* utilizando el método de investigación participativa en el cantón Santa Isabel, Azuay como un sistema alternativo de producción (Master's thesis).
- Casco, C. A., & Iglesias, C.M. (2005). Producción de biofertilizantes líquidos a base de lombricompost. Trabajo final para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.
- Chinsamy, M., Kulkarni, M.G., & Van Staden, J. (2013). Garden-waste-vermicompost leachate alleviates salinity stress in tomato seedlings by mobilizing salt tolerance mechanisms. *Plant Growth Regulation*, 71(1), 41-47.
- Chinsamy, M., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2014). Vermicompost leachate reduces temperature and water stress effects in tomato seedlings. *HortScience*, 49(9), 1183-1187.
- Donohoe, K. (2017). Chemical and Microbial Characteristics of Vermicompost Leachate and their Effect on Plant Growth. University of Sydney. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2123/18212>
- FAO. (2015). El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/>
- Fritz, J.I., Franke-Whittle, I.H., Haindl, S., Insam, H., & Braun, R. (2012). Microbiological community analysis of vermicompost tea and its influence on the growth of vegetables and cereals. *Canadian Journal of Microbiology*, 58(7), 836-847.
- García-Gómez, R.C., Luc D., & Gutiérrez-Miceli, F.A. (2008). Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7(4), 360-367.
- Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N. K., Snehi, S.K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 7(2), 96-102.
- Gutiérrez-Miceli, F.A., García-Gómez, R.C., Oliva-Llaven, M.A., Montes-Molina, J.A., & Dendooven, L. (2017). Vermicomposting leachate as liquid fertilizer for the cultivation of sugarcane (*Saccharum* sp.). *Journal of Plant Nutrition*, 40(1), 40-49.
- Gutiérrez-Miceli, F.A., García-Gómez, R.C., Rosales, R.R., Abud-Archila, M., Angela, O. L.M., Cruz, M.J.G., & Dendooven, L. (2008). Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor*

- (L.) Moench) using vermicompost leachate. *Bioresource Technology*, 99(14), 6174-6180.
- Jarecki, M.K., Chong, C., & Voroney, R.P. (2005). Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition*, 28(4), 651-667.
- Kandari, L.S., Kulkarni, M.G., & Van Staden, J. (2011). Vermicompost leachate improves seedling emergence and vigour of aged seeds of commercially grown *Eucalyptus* species. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 73(2), 117-122.
- Kumar, A., Bahadur, I., Maurya, B.R., Raghuvanshi, R., Meena, V.S., Singh, D.K., & Dixit, J. (2015). Does a plant growth-promoting rhizobacteria enhance agricultural sustainability? *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 9(1), 715-724.
- Lauriano-Barajas, J., & Vega-Frutis, R. (2018). Infectivity and effectivity of commercial and native arbuscular mycorrhizal biofertilizers in seedlings of maize (*Zea mays*). *Botanical Sciences*, 96(3), 395-404.
- Lee, J. (2010). Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124(3), 299-305.
- Manyuchi, M. M., Phiri, A., Muredzi, P., & Chitambwe, T. (2013). Comparison of vermicompost and vermiwash bio-fertilizers from vermicomposting waste corn pulp. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 78, 365-368.
- Şanlı, A., Karadoğan, T., & Tosun, B. (2015). The effects of sugar beet molasses applications on root yield and sugar content of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(2):103-108.
- Singh, S., Kulkarni, M.G., & Van Staden, J. (2014). Biochemical changes associated with gibberellic acid-like activity of smoke-water, karrikinolide and vermicompost leachate during seedling development of *Phaseolus vulgaris* L. *Seed Science Research*, 24(1), 63-70.
- Suliasih, S., & Widawati, S. (2017). Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Molasses on Seed Germination and Seedling Growth of *Sorghum bicolor* L. Moench. In *Proceedings The 1st SATREPS Conference (Vol. 1)*.

