

EFFECTO DEL ABONO DE SUSTRATO GASTADO DE CHAMPIÑÓN EN EL RENDIMIENTO DE FRIJOL *Phaseolus vulgaris* L.

Effect of Fertilization with Used Mushroom Substrate Based Compost on *Phaseolus vulgaris* L. Yield

Helio Adán García Mendivil¹, Pedro José Balderrama Corona¹, Luciano Castro Espinoza¹,
Catalina Mungarro Ibarra¹, Maritza Arellano Gil¹, José Luis Martínez¹
y Marco Antonio Gutiérrez Coronado^{1*}

RESUMEN

La manipulación de los desechos orgánicos y sus compostas representan una fuente de nutrientes imprescindible para la agricultura sostenible, ya que provee de fertilizantes naturales y reduce la contaminación ambiental, bajando con ello el costo de producción. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de composta a base de sustrato gastado de champiñón, enriquecida con silicio, al suelo, en cultivo de frijol, a través de mediciones fisiológicas y rendimiento en frijol. El experimento se estableció en campo, sembrándose frijol var. Pinto Saltillo en Huatabampo, Sonora, en un suelo de tipo aluvión ligero. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, compuesto de 4 tratamientos con cuatro repeticiones: 1.- testigo (sin aplicación), 2-2.5, 3-5 y 4-7.5 Mg ha⁻¹ de composta. Las variables evaluadas fueron: clorofila total, tasa fotosintética ($\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$), número de vainas por planta y rendimiento. Con los datos se realizó un análisis de varianza y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Se observaron respuestas significativas en la mayoría las variables evaluadas, en clorofila total hubo aumentos de hasta 26.2% en el tratamiento dos, para fotosíntesis de 26.1% en el tratamiento cuatro, en el número de vainas 8.7% en el tratamiento tres, siendo este el de mayor rendimiento ($P \leq 0.05$) con 2.91 Mg ha⁻¹, seguido del tratamiento dos con 2.89 Mg ha⁻¹, el tratamiento cuatro con 2.85 Mg ha⁻¹, y por último el testigo con 1.4 Mg ha⁻¹.

¹ Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias, Instituto Tecnológico de Sonora. 5 de Febrero 818 Sur, Colonia Centro. 85000 Ciudad Obregón, Sonora, México.

* Autor responsable (marco.gutierrez@itson.edu.mx)

Recibido: septiembre de 2013. Aceptado: diciembre de 2013.
Publicado como nota de investigación en
Terra Latinoamericana 32: 69-76.

Los resultados sugieren que el empleo de composta es una alternativa de fertilización viable para la producción de frijol.

Palabras clave: biofertilizante, productividad, eficiencia, nutrición vegetal.

SUMMARY

Organic waste and compost are sources of essential nutrients for sustainable agriculture. They can provide natural fertilizer, reduce environmental pollution, and thereby lower production costs. The aim of this study was to assess the effect of applying compost made with used mushroom substrate and enriched with silicon to the soil on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) performance. The field experiment was established with the bean var. Pinto Saltillo in Huatabampo, Sonora, in a light alluvial soil. The experimental design was randomized blocks, consisting of 4 treatments with four replicates: 1 - control (no application), 2 - 2.5, 3 - 5 and 4 - 7.5 Mg ha⁻¹ of compost. The variables evaluated were total chlorophyll, photosynthetic rate ($\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$), number of pods per plant and yield. An analysis of variance was performed on the data, and means were compared using the Tukey test ($P \leq 0.05$). Significant responses were found in most of the evaluated variables. Total chlorophyll increased to 26.2% in treatment two, photosynthesis increased to 26.1% in treatment four, number of pods was 8.7% higher in treatment three. Treatment three had the highest yield with 2.91 Mg ha⁻¹, followed by treatment two with 2.89 Mg ha⁻¹, treatment four with 2.85 Mg ha⁻¹, and finally the control with 1.4 Mg ha⁻¹. The results suggest that the use of this compost is a viable option for fertilization in bean production.

Index words: biofertilizer, productivity, efficiency, plant nutrition.

INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie importante, debido a su valor nutricional y representa la principal fuente de proteínas (20 al 30%) de bajo costo en la dieta del ser humano (Gallegos-Tintoré *et al.*, 2004). Es un complemento de cereales y otros alimentos ricos en hidratos de carbono para proveer una nutrición casi perfecta para personas de todas las edades (Shehata *et al.*, 2011). En el sur de Sonora, el frijol es una opción de cultivo en el ciclo otoño-invierno pero sobre todo en el ciclo primavera-verano, cuando los agricultores terminan las cosechas de hortalizas.

El uso extensivo de fertilizantes químicos y el estado del suelo resultante, el cual presenta un desequilibrio en la concentración de nutrientes, han estimulado el uso de enmiendas orgánicas para mejorar la fertilidad del mismo, que es cada vez más importante para la productividad sostenible y la gestión de los nutrientes. Los fertilizantes orgánicos dan una mayor estabilidad y sostenibilidad a la producción agrícola (Prakash y Prasad, 2000).

Los macro y micronutrientes esenciales y otras sustancias promotoras del crecimiento presentes en el medio de cultivo pueden ser suministrados a partir de fuentes inorgánicas y orgánicas (Theunissen *et al.*, 2010). La manipulación de los desechos orgánicos y sus compostas representan una fuente de nutrientes imprescindible para la agricultura sostenible. La composta de sustrato gastado de champiñón es el composteo del material residual de la producción de champiñón. La producción de hongos es la industria más grande de fermentación en estado sólido en el mundo (Moore y Chiu, 2001). A partir de la producción de 1 kg de setas pueden generarse 5 kg de composta de sustrato agotado de hongos en la cual permanecen altos niveles de nutrientes residuales y enzimas (Eggen, 1999; Semple *et al.*, 2001; Polat *et al.*, 2009). La fabricación de composta y su posterior incorporación al suelo es la opción de gestión de residuos ambientalmente más sensible y que esta inmediatamente a disposición de la industria de los hongos (Maher *et al.*, 2000). Al final de la cosecha del champiñón el material de cultivo se considera gastado-agotado pero contiene suficientes nutrientes digeribles que justifican sus usos posteriores. Al compostear el sustrato mencionado se obtienen beneficios, entre los que destacan agentes de biocontrol, los cuales suprimen el desarrollo de hongos indeseables,

además de ser una buena fuente de materia orgánica y de nutrientes (Davis *et al.*, 2005). La composta es una de las técnicas que considera la agricultura orgánica; ésta última definida por la Asociación Mexicana de Agricultores Ecológicos, como el arte y la ciencia para obtener productos agropecuarios sanos, mediante técnicas que favorezcan las fuentes naturales de fertilidad del suelo sin el uso de agroquímicos contaminantes, mediante un programa preestablecido de manejo ecológico. La composta es un producto con una gran variedad y densidad de microorganismos que sintetizan enzimas, vitaminas y hormonas, entre otros; los cuales repercuten favorablemente en el equilibrio biótico del suelo (López, 2003). El alza del valor de la tierra y el incremento de costos de producción de cultivos, en particular los fertilizantes nitrogenados, hacen cada vez más necesario el uso eficiente de este insumo, que además tiene un gran impacto sobre el rendimiento, aumentando por tanto su retorno económico. Una composta madura agrega nutrientes y humus al suelo, mejora su capacidad de retención de agua, el drenaje y la aireación. También agrega y estimula la formación de organismos protectores, antibióticos, hormonas y otras sustancias benéficas que protegen a las plantas de enfermedades, insectos y nemátodos dañinos (García, 2008).

Otros beneficios de la composta son: 1) mejora las características de los suelos, como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio; 2) mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas; 3) fomenta la actividad microbiana (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009). El empleo de composta, además de reducir la contaminación ambiental, provee de fertilizantes orgánicos, provocando con esto una reducción en el costo de producción. En consecuencia, la sociedad agricultora que utiliza este tipo de prácticas espera mayores ingresos, como resultado de los altos rendimientos y una mejora en la fertilidad y la productividad del suelo a través de una gestión sostenible (Sarwar *et al.*, 2008). Actualmente no existen trabajos reportados sobre el uso de otras compostas en la zona de trabajo, sin embargo, se considera viable la composta de sustrato gastado de champiñón debido a la disponibilidad del mismo y a la gran cantidad de microorganismos promotores de crecimiento y agentes de biocontrol.

En condiciones de campo, el silicio puede estimular el crecimiento de las plantas (Loaiza, 2003)

y la productividad por aumentar la disponibilidad de elementos como el P, Ca, Mg, K y B, al contrarrestar el antagonismo generado en suelos con alta saturación de aluminio y hierro (Hodson y Evans, 1995; Epstein y Bloom, 2005). El silicio en su forma de ión silicato aumenta disponibilidad de fósforo al liberarlo a partir de los coloides del suelo y de los fosfatos de hierro, manganeso y aluminio, en suelos con reacción ácida, ya que hace una sustitución de los fosfatos por los silicatos, permitiendo a su vez contrarrestar el efecto tóxico de los microelementos metálicos (Oduka y Takashi, 1964; Fassbender y Muller, 1967; Epstein y Bloom, 2005). La época de presiembrado es la más eficiente para el aporte de ácido monosilícico explicado por el efecto benéfico que ejerce el silicio sobre la dinámica de elementos que se requieren en etapas iniciales del cultivo en elementos de baja movilidad como el P, lo cual garantiza el normal desarrollo radical y de crecimiento (Borda, 2007).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de composta hecha a base de sustrato gastado de champiñón, enriquecida con silicio, al suelo, en el cultivo de frijol a través de mediciones fisiológicas y de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en una parcela bajo condiciones de riego, sembrándose frijol var. Pinto Saltillo en Huatabampo, Sonora, en suelo de tipo aluvión ligero (FrI), la siembra se realizó el 25 de febrero de 2012. Se aplicaron cuatro tratamientos: 1) Testigo, no se le aplicó ningún tipo de fertilizante, 2) 2.5, 3 - 5 y 4 - 7.5 Mg ha⁻¹ de composta sólida de sustrato gastado de champiñón (Cuadro 1), enriquecida con 60 kg de silicio por 940 kg de composta (con el fin de poner a mejor disposición de la planta el resto de los nutrimentos), proveniente de la empresa Fertilizantes Nitrogenados y Fosfatados, S. de R. L. de C. V. de La Barca, Jalisco. Donde se tiene una producción anual de 10 000 toneladas de composta. La cual se aplicó en pre siembra en banda. Se aplicaron tres riegos de auxilio en las etapas: V4, R1 y R3 (tercera hoja trifoliada, prefloración y formación de vainas). El proceso de compostaje fue el utilizado comúnmente.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar, compuesto de cuatro tratamientos con cuatro repeticiones. La unidad experimental fueron 3 surcos de 0.80 m de ancho × 5 m de largo; la parcela

Cuadro 1. Composición nutrimental de la composta a base de sustrato gastado de champiñón.

Parámetro	Valor	Tratamientos de composta		
		T2	T3	T4
- - - - - kg ha ⁻¹ de nutrientes aportados - - - - -				
Nitrógeno (%)	1.5	37.50	75.00	112.50
Fósforo (%)	0.85	21.25	42.50	63.75
Potasio (%)	1.35	33.75	67.50	101.25
Azufre (%)	3	75.00	150.00	225.00
Magnesio (%)	0.7	17.50	35.00	52.50
Calcio (%)	7.5	187.50	375.00	562.50
Sodio (g kg ⁻¹)	2300	5.75	11.50	17.25
Fierro (g kg ⁻¹)	2600	6.50	13.00	19.50
Aluminio (g kg ⁻¹)	3700	9.25	18.50	19.50
Manganeso (g kg ⁻¹)	3800	9.50	19.00	27.75
Cobre (g kg ⁻¹)	280	0.70	1.40	28.50
Zinc (g kg ⁻¹)	230	0.57	1.15	1.73
Humedad (%)	30			
pH	7.15			
Materia orgánica (%)	44.5			
Conductividad eléctrica	14.4			
Relación carbono:nitrógeno	25:01:00			

T2 = 2.5; T3 = 5.0; T4 = 7.5 Mg de composta ha⁻¹.

útil fue el surco central eliminando 1.5 m de cabecera de ambos lados.

Con los datos se realizó un análisis de varianza con STATGRAPHICS Versión 16.1.11 y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las variables evaluadas se mencionan a continuación.

Clorofila Total

Las lecturas de clorofila se realizaron semanalmente con el medidor de clorofila (SPAD 502 Plus® modelo 2900P de Minolta, USA). Tomando lecturas de 11:00 am a 2:00 pm en seis plantas de cada parcela útil y reportando en Unidades de Clorofila o Unidades Spad (UC).

Tasa Fotosintética

Se determinó por medio de un aparato portable que mide la fotosíntesis (LI-6400XT, LI-COR Inc., USA). Tomando lecturas de 11:00 am a 2:00 pm en tres plantas de cada parcela útil. Reportando en $\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$.

Número de Vainas por Planta

Se realizó manualmente, en diez plantas de cada parcela útil.

Rendimiento

Se colocó la muestra (granos) que fue cosechada en la parcela útil, con un contenido de humedad del 12%, en una báscula digital marca TOR REY®, Modelo EQ-10/20 y se registró su peso en kilogramos. El rendimiento se calculó extrapolando el peso de los granos por metro cuadrado que se obtuvieron de cada una de las muestras cosechadas convirtiendo éstas a toneladas por hectárea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clorofila Total

Los valores más altos (47 a 51 UC) de clorofila se presentaron en la etapa vegetativa y cerca de la madurez fisiológica, mientras que los valores más bajos (40 a 45 UC) corresponden a la etapa de floración y llenado de vaina ($P \leq 0.05$) en todos los tratamientos. La dinámica para clorofila se presentó de la siguiente manera: en las mediciones de la primera semana (55 días después

de la siembra) no se tuvo un efecto benéfico en ninguno de los tratamientos con aplicación de composta. En la semana dos el tratamiento cuatro fue el que presentó el mayor aumento en el contenido de clorofila, 24.3% respecto al testigo. En la semana tres el mayor valor se observó en el tratamiento tres, el cual presentó un aumento del 18.6% respecto al testigo. Para las semanas cuatro y cinco se presentaron aumentos del 26.3 y 20.7% en el tratamiento dos respecto al testigo. Por último el tratamiento tres mostró un aumento del 18.5% respecto al testigo en la semana seis (Figura 1).

La medición de fluorescencia de clorofila se ha convertido en un método ampliamente utilizado como un indicador del funcionamiento del aparato fotosintético y es una herramienta poderosa para estudiar la respuesta de la planta a estrés ambiental, así como para detectar una deficiencia de nitrógeno (Cartelat *et al.*, 2005; Terzi *et al.*, 2010). Los valores de clorofila observados a lo largo del experimento (40 a 52 UC) son similares a los reportados por Ghanbari *et al.* (2013) en plantas de frijol fertilizadas según las necesidades del cultivo. Gutiérrez *et al.* (2004), obtuvieron resultados similares en frijol al aplicar un tratamiento con una dosis de 200 kg de N ha^{-1} , observaron que durante la etapa de floración y de llenado de vaina hubo mayor contenido de clorofila en el dosel del frijol. En el presente estudio se aplicó composta equivalente a una dosis de N menor a los 200 kg de N ha^{-1} (37.5 a 112.5 kg ha^{-1}). Pupiales *et al.* (2012), encontraron que la composta permite una mayor eficiencia en la absorción de N atmosférico y del suelo, lo que puede explicar en gran medida la similitud de resultados. En experimentos anteriores donde se evaluó la aplicación de composta y vermicomposta en comparación con la fertilización inorgánica recomendada encontraron respuestas similares a las descritas (Fernandez-Luqueño *et al.*, 2010; Shehata *et al.*, 2011).

Fotosíntesis

Se encontró una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos en la actividad fotosintética en tres de las seis lecturas realizadas. En la primera de ellas el tratamiento cuatro mostró un aumento de 26.1% respecto al testigo, mientras que para las mediciones tres y cinco el tratamiento tres presentó aumentos del 16.6 y 12.3% respectivamente (Figura 2).

En experimentos, con el objetivo de examinar los efectos de distintos abonos orgánicos sobre la fotosíntesis en diferentes cultivos, se observaron

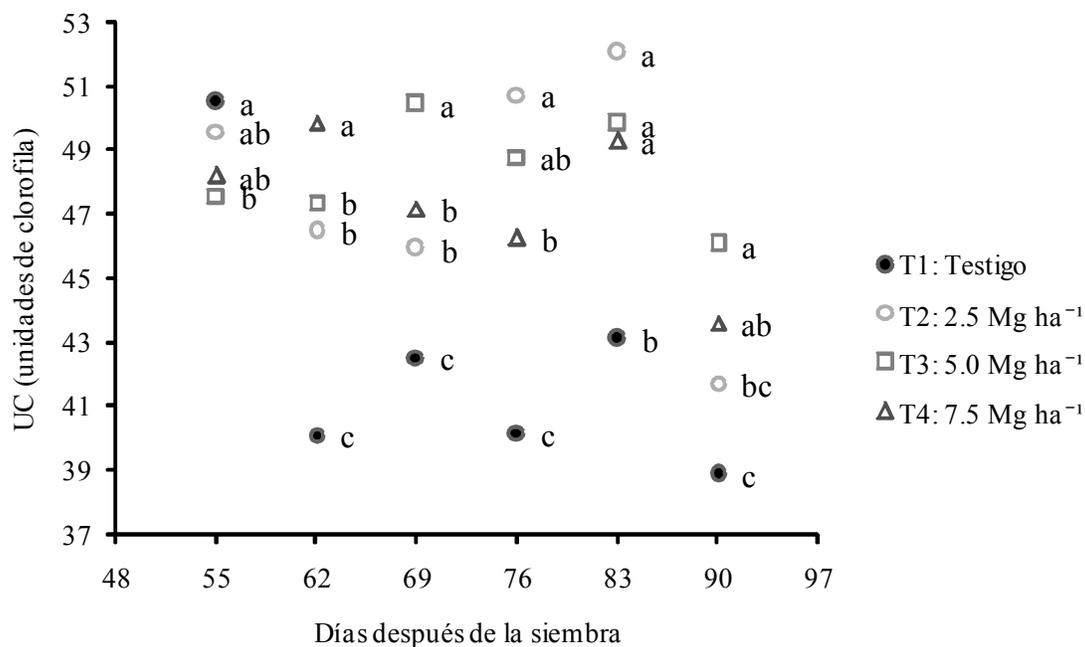


Figura 1. Efecto de la aplicación de compostas sobre el contenido de clorofila en frijol var. Pinto Saltillo. Símbolos con diferente letra son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) en cada fecha de medición.

resultados similares, los diferentes tratamientos también presentaron resultados superiores al testigo (Xu *et al.*, 2000; Xu, 2001).

Número de Vainas por Planta

En esta variable los análisis no mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. Observando 22.73 vainas por planta en el tratamiento tres, seguido por el tratamiento dos con 22.54, el tratamiento cuatro con 22.11 y 20.91 en el testigo. Smith *et al.* (2001) reportaron que el aumento de la proporción de compostas aplicada generalmente condujo a un mayor número de vainas y semillas de frijol común. Gomez-Alvarez *et al.* (2008) observaron incrementos significativos del 67% en comparación al testigo con la aplicación de compostas en dosis de 5 Mg ha⁻¹. Pupiales *et al.* (2012) demostraron la posibilidad de igualar el número de vainas por planta que se obtiene a través de una fertilización inorgánica con la aplicación combinada de distintos residuos orgánicos, esto como resultado de la influencia directa de las poblaciones microbiales sobre la disponibilidad de elementos tales como el nitrógeno, el fósforo y el azufre, y la mejora en la fijación del nitrógeno atmosférico. Negrin-Brito y Jiménez-Peña (2012) también observaron una mayor cantidad de vainas por planta, con una

diferencia altamente significativa, con la aplicación de 9 Mg ha⁻¹ de biosólidos en relación al testigo. Estudios similares encontraron un mayor número de vainas por planta con la aplicación de vermicomposta (Aguilar-Benitez *et al.*, 2012) y la combinación de la misma con fertilizantes inorgánicos (Singh *et al.*, 2011).

Rendimiento

En relación al rendimiento se obtuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), con aumentos cercanos al 100%, entre tratamientos con aplicación de compostas y el testigo, teniendo en primer lugar al tratamiento tres con un rendimiento de 2.91 Mg ha⁻¹, seguido del tratamiento dos con 2.89 Mg ha⁻¹, el tratamiento cuatro con 2.85 Mg ha⁻¹, y por último el testigo con 1.4 Mg ha⁻¹. Resultados similares se presentaron al aplicar una concentración de 5 Mg ha⁻¹ de compostas a frijol, donde se obtuvo un promedio de 2.1 Mg ha⁻¹, mientras que el testigo tan solo registró 1.4 Mg ha⁻¹ (Gómez *et al.*, 2008). Al incorporar abonos orgánicos al suelo se incrementó el rendimiento del frijol, se ha mencionado que con los abonos orgánicos hay una mejoría en las propiedades físicas y químicas del suelo, favoreciendo que el consorcio de microorganismos del mismo influya directamente en los incrementos de los rendimientos

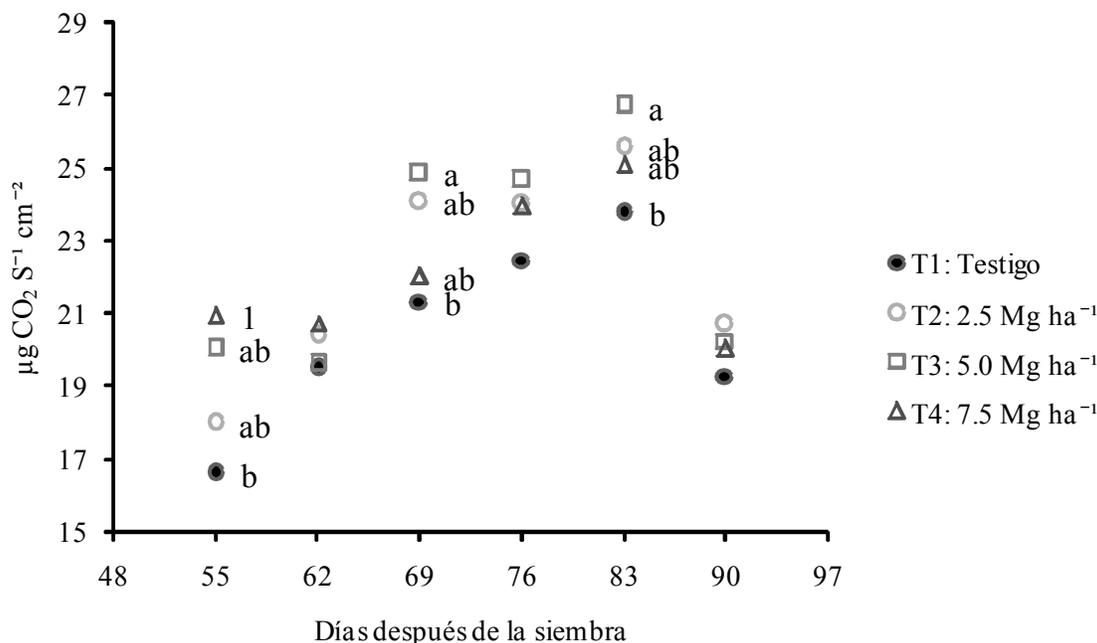


Figura 2. Efecto de la aplicación de composta sobre la tasa de fotosíntesis ($\mu\text{g CO}_2 \text{ S}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) en frijol var. Pinto Saltillo. Símbolos con diferente letra en cada una de las mediciones son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

agrícolas y crecimiento de las plantas (Álvarez *et al.*, 2000; Pool *et al.*, 2000; Gómez-Álvarez *et al.*, 2008). Esto puede explicar en gran medida los rendimientos alcanzados a pesar de que el aporte de N fue menor a los 105 kg ha^{-1} recomendados por Guerrero (2005) para obtener un rendimiento de 2.5 Mg ha^{-1} de frijol. Aguilar-Benítez *et al.* (2012) encontraron un aumento en rendimiento de 20 a 33% sobre el testigo al aplicar vermicomposta en cultivos de frijol. Además, se encontró que el número de vainas por planta, el número de granos y el rendimiento aumentó en relación al testigo en los tratamientos con aplicación de residuos orgánicos en combinación con fertilizantes químicos (Pupiales *et al.*, 2012). De la misma manera Negrin-Brito y Jiménez-Peña (2012) observaron diferencias significativas en el rendimiento de frijol con la aplicación de biosólidos. Al realizar un breve análisis econométrico, partiendo del costo por tonelada de la composta de \$1100.00, al aplicar las 2.5, 5 y 7.5 Mg ha^{-1} , se tiene una inversión de \$2750.00, \$5500.00 y \$8250.00 respectivamente, considerando los aumentos en el rendimiento en cada caso, las utilidades resultantes serían del orden de, \$19 600.00, \$17 000.00 y \$13 500.00 respectivamente, más los beneficios directos al suelo por el uso de estas prácticas.

CONCLUSIONES

La aplicación de composta a base de champiñón en dosis de 2.5 y 5 Mg ha^{-1} tuvo efecto significativo positivo ($P \leq 0.05$) sobre el contenido de clorofila, la tasa de fotosíntesis y el rendimiento del frijol var. Pinto Saltillo bajo riego, lo que sugiere que el empleo de composta es una alternativa para fertilizar el frijol con el fin de mejorar la productividad y promover una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno. Aumentar la tolerancia a estrés ambiental puede ser otro beneficio sugerido por el aumento en el contenido de clorofila y la tasa fotosintética.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Benítez, G., C. B. Peña-Valdivia, J. R. García-Nava, P. Ramírez-Vallejo, S. G. Benedicto-Valdés y J. D. Molina-Galán. 2012. Rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en relación con la concentración de vermicompost y déficit de humedad en el sustrato. *Agrociencia* 46: 37-50.
- Álvarez S., J. D., R. Ferrera C. y J. D. Etchevers B. 2000. Actividad microbiana en Tepetate con incorporación de residuos orgánicos. *Agrociencia* 34: 523-532.
- Borda, O. A., F. H. Barón y M. I. Gómez. 2007. El silicio como elemento benéfico en avena forrajera (*Avena sativa* L.): respuestas fisiológicas de crecimiento y manejo. *Agron. Colomb.* 25: 273-279.

- Cartelat, A., Z. G. Cerovic, Y. Goulas, S. Meyer, C. Lelarge, J. L. Prioul., A. Barbottin, M. H. Jeuffroy, P. Gate, G. Agati, and I. Moya. 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Res.* 91: 35-49.
- Cruz-Lázaro, E., M. A. Estrada-Botello, V. Robledo-Torres, R. Osorio-Osorio, C. Márquez-Hernández y R. Sánchez-Hernández. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Univ. Cien.* 25: 59-67.
- Davis, D. D., L. J. Kuhns, and T. L. Harpster. 2005. Use of mushroom compost to suppress artillery fungi. *J. Environ. Hort.* 23: 212-215.
- Eggen, T. 1999. Application of fungal substrate from commercial mushroom production *Pleurotus ostreatus* for bioremediation of creosote contaminated soil. *Int. Biodeterior. Biodegradat.* 44: 117-126.
- Epstein, E. and A. J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Sinauer Assn. Sunderland, England.
- Fassbender, H. y R. U. Muller. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. 1, Efecto de aplicaciones de metasilicato de sodio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Ed. UNDP, Turrialba, Costa Rica.
- Fernández-Luqueño, F., V. Reyes-Varela, C. Martínez-Suárez, G. Salomón-Hernández, J. Yáñez-Meneses, J. M. Ceballos-Ramírez, and L. Dendooven. 2010. Effect of different nitrogen source on plant characteristics and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Bioresour. Technol.* 101: 396-403.
- Gallegos-Tintoré, S., J. Pacheco-Aguirre, D. Betancur-Ancona y L. Chel Guerrero. 2004. Extracción y caracterización de las fracciones proteínicas solubles del grano de *Phaseolus lunatus* L. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 54: 81-88.
- García, L. A. 2008. Criterios para la fertilización nitrogenada en cultivos de invierno. *Rev. INIA.* 15: 20-24.
- Ghanbari, A. A., M. R. Shakiba, M. Toorchi, and R. Choukan. 2013. Morpho-physiological responses of common bean leaf to water deficit stress. *Eur. J. Exp. Biol.* 3: 487-492.
- Gómez-Álvarez, R., G. Lázaro-Jerónimo y J. A. León-Nájera. 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y rábano (*Rhbanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Univ. Cienc.* 24: 11-20.
- Gutiérrez R., M., J. A. Escalante E., M. T. Rodríguez G. y M. P. Reynolds. 2004. Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 22: 409-416.
- Hodson, M. y D. Evans. 1995. Aluminum/silicon interactions in higher plants. *Expl. Bot.* 46: 161-171.
- Loaiza, C. 2003. Fisiología vegetal. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- López Martínez, J. D. 2003. Producción de compost. pp. 63-84. *In:* E. Salazar S., M. Fortis H., A. Vázquez A. y C. Vázquez V. (eds.). Abonos orgánicos y plasticultura. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., COCyTED. México.
- Maher, M. J., S. Smyth, V. A. Dodd, T. McCabe, W. L. Magette, J. Duggan, and M. J. Hennerty. 2000. Managing spent mushroom compost. Ballsbridge, Dublin.
- Moore, D. and S. W. Chiu. 2001. Filamentous fungi as food. pp. 223-252. *In:* S. B. Pointing and K. D. Hyde (eds.). Bio-exploitation of filamentous fungi. Fungal diversity press. The University Hong Kong. Pokfulam Road, Hong Kong.
- Negrin-Brito, A. y Y. Jiménez-Peña. 2012. Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cult. Trop.* 33: 13-19.
- Okuda, A. and E. Takahashi. 1964. The role of silicon. pp. 123-146. *In:* International Rice Research Institute. The mineral nutrition of the rice plant. Proceedings of a Symposium at the International Rice Research Institute. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, MD, USA.
- Polat, E., H. I. Uzun, B. Topcuoglu, K. Önal, A. N. Onus, and M. Karaca. 2009. Effects of spent mushroom compost on quality and productivity of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in greenhouses. *Afr. J. Biotechnol.* 8: 176-180.
- Pool N., L., A. Trinidad Santos, J. D. Etchever B., J. Perez M. y A. Martínez G. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 34: 251-259.
- Prakash, R. and M. Prasad. 2000. Effect of nitrogen, chlormequat chloride and farmyard manure applied to cotton (*Gossypium hirsutum*) and their residual effect on succeeding wheat *Triticum aestivum* crop. *Ind. J. Agron.* 45: 263-268.
- Pupiales, A., J. Alirio Pupiales y A. Silva Parra. 2012. Respuesta del frijol lima (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de abono orgánico a base de residuos sólidos de fique, Tambo, Departamento de Nariño, Colombia. *Rev. Cienc. Agríc.* 26: 1-16.
- Sarwar, G., H. Schmeisky, N. Hussain, S. Muhammad, M. Ibrahim, and E. Safdar. 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. *Pak. J. Bot.* 40: 275-282.
- Semple, K. T., B. J. Reid, and T. R. Fermor. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants: a review. *Environ. Pollut.* 112: 269-283.
- Shehata, S. A., Y. M. Ahmed, E. A. Shalaby, and O. S. Darwish. 2011. Influence of compost rates and application time on growth, yield and chemical composition of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 5: 530-536.
- Singh, B. K., K. A. Pathak, A. K. Verma, V. K. Verma, and B. C. Deka. 2011. Effects of vermicompost, fertilizer and mulch on plant growth, nodulation and pod yield of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Veget. Crops Res. Bull.* 74: 153-165.
- Smith, D. C., V. Beharee, and J. C. Hughes. 2001. The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. flavescens) and common bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. nanus). *Sci. Hortic.* 91: 393-406.

- Terzi, R., A. Saglam, N. Kutlu, H. Nar, and A. Kadioglu. 2010. Impact of soil drought stress on photochemical efficiency of photosystem II and antioxidant enzyme activities of *Phaseolus vulgaris* cultivars. Turk. J. Bot. 34: 1-10.
- Theunissen, J., P. A. Ndakidemi, and C. P. Laubscher. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. Int. J. Phys. Sci. 5: 1964-1973.
- Xu, H. L. 2001. Effects of a microbial inoculant and organic fertilizers on the growth, photosynthesis and yield of sweet corn. J. Crop Prod. 3: 183-214.
- Xu, H. L., R. Wang, and M. A. U. Mridha. 2000. Effects of organic fertilizers and a microbial inoculant on leaf photosynthesis and fruit yield and quality of tomato plants. J. Crop Prod. 3: 173-182.