

Efecto de *Glomus fasciculatum* y su relación con tres abonos orgánicos en dos cultivares de haba*

Effect of *Glomus fasciculatum* and its relationship with three organic fertilizers on two broad bean cultivars

Luis Alberto Orozco Hernández¹, Delfina de Jesús Pérez López^{2§}, Andrés González Huerta² Omar Franco Mora², Martín Rubí Arriaga² y Luis Isaac Aguilera Gómez³

¹Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex.). Campus Universitario "El Cerrillo". El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México (CPB-TEM). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. UAEMex-CPB-TEM. A. P. 435. Tel. y Fax: 01(722) 2965518. Ext. 148. (agonzalezh@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx; mrubia@uaemex.mx; luishalc@mailcity.com). [§]Autora para correspondencia: djperezl@uaemex.mx.

Resumen

El interés de los productores de haba es ponderar entre sustentabilidad y economía; una producción alta y de calidad podría obtenerse con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y abonos orgánicos. El presente trabajo se estableció en el Campo Experimental Rancho "San Lorenzo", ubicado en el municipio de Metepec, estado de México. El objetivo principal fue evaluar *Glomus fasciculatum* con lombricomposta, gallinaza y composta de champiñón en 1, 2 y 3 t ha⁻¹ y N60-P60-K30 aplicado en dos cultivares de haba. Los 40 tratamientos se aleatorizaron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, en arreglo de parcelas divididas; ambos cultivares con y sin micorriza (C+M) fueron la parcela grande y el tipo y la dosis de abono la parcela chica (B). La unidad experimental constó de tres surcos de 4 x 0.80 m. La distancia entre plantas fue de 0.40 m. Se detectaron diferencias significativas para ambos factores y en su interacción en 19 de las 21 variables. Al aplicar *G. fasciculatum* el cv. San Pedro (C1) expresó el mayor promedio en NNF, AP, IV, NVP, PVP, PSL, P100 S, RG, %COL, LRz, NRs, NBs, %VES y %ARB. La gallinaza y la composta de champiñón con 3 t ha⁻¹ favorecieron una mejor expresión fenotípica en la mayoría de las variables evaluadas. C1 con 3 t ha⁻¹ de

Abstract

The interest of broad bean producers is to weigh between sustainability and economy; high production and quality could be obtained with arbuscular mycorrhizal fungi (HMA) and organic fertilizers. This work was established at the Experimental Field Ranch "San Lorenzo" located in the municipality of Metepec, State of Mexico. The main objective was to evaluate *Glomus fasciculatum* with vermicompost, manure and mushroom compost in 1, 2 and 3 t ha⁻¹ and N60-P60-K30 applied in two broad bean cultivars. The 40 treatments were randomized in an experimental design in a randomized complete block with three replications, in split plot arrangement; both cultivars with and without mycorrhiza (C + M) were big plot and the type and amount of fertilizer the small plot (B). The experimental unit consisted of three rows of 4 x 0.80 m. The distance between plants was 0.40 m. Significant differences were detected for both factors and in their interaction in 19 of the 21 variables. When applying *G. fasciculatum* the cv. San Pedro (C1) expressed the highest average in NNF, AP, IV, NVP, PVP, PSL, P100 S, RG, %COL, LRz, NRs, NBs, %VES and %ARB. Chicken manure and mushroom compost with 3 t ha⁻¹ favored a better phenotypic expression in most of the variables evaluated.

* Recibido: junio de 2016
Aceptado: agosto de 2016

gallinaza y HMA mostró el mejor comportamiento para AP, IV, NVP, PSL, P100S, y RG (2.63 t ha⁻¹). C1 con 3 t ha⁻¹ de champiñón y micorrizas originó mayor % COL (72.20%) y de ARB (71.46 %). El cv. Santiago (C2) con 3 t ha⁻¹ de gallinaza y HMA mostraron el mayor PVP (124.10 g), NSL (32.63), PSL (62.40 g), RG (2.40 t ha⁻¹), %ARB (73.30) e % hifas (84.40). Los componentes principales 1 y 2 explicaron 52.42% de la variación total original.

Palabras clave: *Vicia faba*, abonos orgánicos, micorrizas, Valles Altos del Centro de México.

Introducción

En los últimos años el uso indiscriminado de plaguicidas ha afectado la fertilidad del suelo y a los ecosistemas, por lo que ha surgido la necesidad de desarrollar nuevas estrategias ecológicas basadas en interacciones biológicas beneficiosas que permitan incrementar la disponibilidad de nutrientes (Rojas y Ortuño, 2007). Las micorrizas y las bacterias fijadoras de N₂ atmosférico, conocidos como biofertilizantes, inciden favorablemente en el desarrollo de las plantas (West *et al.*, 2009). El humus de lombriz, la gallinaza y el residuo del hongo de champiñón aportan materia orgánica (Eghball *et al.*, 2002).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) actúan como aceleradores del crecimiento al aumentar la absorción del fósforo y ayudan en la protección contra patógenos (Alarcón y Ferrera, 1999, 2000; Mena *et al.*, 2006; West *et al.*, 2009; Smith y Smith, 2011; Singh *et al.*, 2013); también pueden influir en el proceso estructural y de agregación del suelo (Rilling y Mummey, 2006). Dentro de los HMA se encuentra *Glomus* con 85 especies, pero la más importante en la agricultura es *G. fasciculatum*, estudiada en frutales, forestales, hortalizas y leguminosas. Existen reportes del efecto positivo de ésta con composta, estiércol o residuo de cosecha (Saif, 1986) al aumentar el potencial del inóculo en el suelo, la colonización y la absorción de nutrientes (Gosling *et al.*, 2006; Wu y Zou, 2010; Singh *et al.*, 2013; Dutt *et al.*, 2013).

La aplicación de vermicomposta en chile serrano (*Capsicum annum* L.) causó más de 70% de colonización (Manjarrez *et al.*, 1999). El haba (*Vicia faba* L.) tiene una gran importancia como cultivo de rotación, por su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico (Kalia y Sood, 2004); es la séptima leguminosa más importante en el mundo y se consume en fresco y en seco. Este es un cultivo de alto valor proteico (23

C1 with 3 t ha⁻¹ of chicken manure and HMA showed the best behavior for AP, IV, NVP, PSL, P100S, and RG (2.63 t ha⁻¹). C1 with 3 t ha⁻¹ of mushroom and mycorrhizal originated higher %COL (72.20%) and ARB (71.46%). cv. Santiago (C2) with 3 t ha⁻¹ of chicken manure and HMA showed the highest PVP (124.10 g), NSL (32.63), PSL (62.40 g), RG (2.40 t ha⁻¹), % ARB (73.30) and %hyphae (8440). The main components 1 and 2 explained 52.42% of original total variation.

Keywords: *Vicia faba*, mycorrhiza, organic fertilizers, Valles Altos del Centro de Mexico.

Introduction

In recent years, the indiscriminate use of pesticides has affected soil fertility and ecosystems, so it has arisen the need to develop new environmental strategies based on beneficial biological interactions that will increase the availability of nutrients (Rojas and Ortuño, 2007). Mycorrhizae and atmospheric N₂-fixing bacteria, known as biofertilizers, favor the development of plants (West *et al.*, 2009). Vermicompost, manure and mushroom residue contribute organic matter (Eghball *et al.*, 2002).

Arbuscular mycorrhizal fungi (HMA) act as growth accelerator by increasing phosphorus absorption and help in protecting against pathogens (Alarcón and Ferrera, 1999, 2000; Mena *et al.*, 2006; West *et al.*, 2009; Smith and Smith, 2011; Singh *et al.*, 2013); it can also influence the structural and soil aggregation process (Rilling and Mummey, 2006). Within the HMA is *Glomus* with 85 species, but the most important in agriculture is *G. fasciculatum*, studied in fruit, forestry, vegetables and legumes. There are reports of the positive effect of it with compost, manure or crop residue (Saif, 1986) by increasing the potential of inoculum in the soil, colonization and nutrient uptake (Gosling *et al.*, 2006; Wu and Zou, 2010; Singh *et al.*, 2013; Dutt *et al.*, 2013).

The application of vermicompost in serrano pepper (*Capsicum annum* L.) caused more than 70% of colonization (Manjarrez *et al.*, 1999). Broad bean (*Vicia faba* L.) has great importance as a rotation crop for their ability to fix atmospheric nitrogen (Kalia and Sood, 2004); it is the seventh largest leguminous in the world and consumed in fresh and dry. This is a culture of high protein (23-43%)

a 43%) y económico para la población de escasos recursos (Pérez *et al.*, 2014). Los principales países aportan el 57% de la producción mundial (FAOSTAT, 2013).

En México es un cultivo de alternativa para los estados de Puebla, México, Tlaxcala, Veracruz y Michoacán donde casi 90% de su superficie se siembra en temporal (SIAP, 2013), pero en los últimos años se ha disminuido su interés y su rendimiento por hectárea debido al agotamiento acelerado de la materia orgánica y a un desbalance nutrimental de los suelos. En la actualidad el interés principal de los productores es ponderar entre sustentabilidad y economía; así, el uso de micorrizas y abonos orgánicos es una alternativa viable para disminuir los daños al ecosistema.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de *G. fasciculatum* con tres abonos orgánicos y una fórmula de fertilización en el rendimiento de grano y en otras características de vaina, planta y raíz de dos cultivares de haba.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en 2013 en el Rancho "San Lorenzo", ubicado en Metepec, estado de Metepec, a una altitud de 2606 m, a 19° 14' 866" de latitud norte y 99° 35' 240" de longitud oeste. El clima predominante es C (W₂) (W) (O_i) g correspondiente al templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 13 °C, con heladas frecuentes de octubre a marzo y una precipitación anual de 785 mm (Pérez *et al.*, 2014). El suelo más común es andosol, rico en materia orgánica.

Material genético

Se utilizaron dos cultivares: San Pedro Tlaltizapán (C1) y Santiago Tianguistenco (C2); C1 fue proporcionada por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX) y fue caracterizada por Pérez *et al.* (2014). C2 es una colecta que lleva por nombre su lugar de origen.

Estructura de tratamientos

Se consideraron lombricomposta, gallinaza y champiñón en 1, 2 y 3 t ha⁻¹ y la fórmula N60-P60-K30. Las 10 combinaciones de abonos y ambos cultivares con y sin *G. fasciculatum* originaron 40 tratamientos (Cuadro 1).

and economic for the low-income population (Pérez *et al.*, 2014). The main countries contribute 57% of worldwide production (FAOSTAT, 2013).

In Mexico it is a growing alternative for the states of Puebla, Mexico, Tlaxcala, Veracruz and Michoacán where almost 90% of its surface is sown under rainfed (SIAP, 2013), but in recent years has decreased its interest and yield per hectare due to rapid depletion of organic matter and soil nutrient imbalance. Currently the main interest of producers is to weigh between sustainability and economy; thus, the use of mycorrhizae and organic fertilizers is a viable option to reduce damage to the ecosystem.

The main objective of this study was to evaluate the effect of *G. fasciculatum* with three organic fertilizers and fertilizer formula in grain yield and other pod, plant and root characteristics of two broad bean cultivars.

Materials and methods

Description of the study area

This work was developed in 2013 at the Ranch "San Lorenzo" located in Metepec, State of Metepec, at an altitude of 2606 m, located at 19° 14' 866" north latitude and 99° 35' 240" west longitude. The predominant climate is C (W₂) (W) (O_i) corresponding to temperate g with summer rains, average annual temperature 13 °C, with frequent frosts from October to March and an annual rainfall of 785 mm (Pérez *et al.*, 2014). The most common soil is andosol, rich in organic matter.

Genetic material

Two cultivars were used: San Pedro Tlaltizapán (C1) and Santiago Tianguistenco (C2); C1 was provided by the Research Institute and Agricultural, Aquaculture and Forestry Training of the State of Mexico (ICAMEX) and was characterized by Pérez *et al.* (2014). C2 is a collection which is name by their place of origin.

Treatment structure

Vermicompost, manure and mushrooms were considered in 1, 2 and 3 t ha⁻¹ and the formula N60-P60-K30. 10 combinations of fertilizers and both cultivars with and without *G. fasciculatum* originating 40 treatments (Table 1).

Diseño y tamaño de la parcela

Los 40 tratamientos fueron aleatorizados en campo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas: ambos cultivares con y sin micorriza fueron asignados a la parcela grande y los nueve abonos orgánicos y la fórmula química conformaron la parcela chica (Cuadro 1). La parcela constó de tres surcos de 9.6 m² con plantas distanciadas a 0.40 m; la parcela útil fue el surco central (3.2 m²).

Inoculación

Para *G. fasciculatum* se sugieren 2 kg ha⁻¹, con 79 esporas por g. Se pesó 0.9 g de inóculo para cada tratamiento, la noche anterior a la siembra se aplicó a la semilla y éstas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5% durante tres minutos y después se lavaron con agua. La técnica de "garapiñado" constó de 300 g de azúcar disuelto en 1 L de agua; en ésta se sumergieron las semillas durante 10 segundos, se escurrieron y se espolvorearon con el inóculo micorrízico; las muestras se secaron sobre una manta en ausencia de luz.

Desarrollo del trabajo experimental

La preparación del suelo constó de barbecho, cruza y rastra. La siembra manual se realizó el 17 de abril de 2013. El tratamiento 60 N-60P-30K se preparó con urea (46% de N), superfosfato de calcio triple (46% de P) y cloruro de potasio (60% de K). Con la siembra se incorporaron la gallinaza, la lombricomposta y la composta de champiñón en 1, 2 y 3 t ha⁻¹. La composición química de los abonos se muestra en el Cuadro 2. Se aplicó un riego el 24 de abril. Las escardas se realizaron el 13 de mayo y 4 de julio. El control de malezas fue manual. Para prevenir enfermedades se aplicó 1 kg ha⁻¹ de manzate (mancozeb). Para disminuir la incidencia de enfermedades se aplicó Rogor (dimetoato) en dosis de 250 g en 100 L de agua, antes de la floración; también se aplicó 100 L ha⁻¹ de Anasac (lambdacioalotrina) para controlar pulgones. La cosecha se hizo en diciembre de 2013.

Variables de estudio

Se eligieron 10 plantas en la parcela útil y se registró: días a floración (DF), nudos florales (NNF, en su eje central), altura de planta (AP: cm desde la base del tallo principal), altura a la primera vaina (APV: cm desde la base del tallo principal a la base de la primera vaina), índice de verdor de la hoja (IV: determinado con SPAD 502 plus), ramas por planta (NR),

Cuadro 1. Factores y niveles de estudio.

Table 1. Factors and levels of study.

Factores	Niveles
Cultivares + micorrizas (Factor A)	C1+SM = San Pedro sin micorriza C1+ M = San Pedro con micorriza C2 + SM = Santiago sin micorriza C2 + M = Santiago con micorriza
Tipo de fertilización (Factor B)	B1= Gallinaza, 1 t ha ⁻¹ B2= Gallinaza, 2 t ha ⁻¹ B3= Gallinaza, 3 t ha ⁻¹ B4= Lombricomposta, 1 t ha ⁻¹ B5= Lombricomposta, 2 t ha ⁻¹ B6= Lombricomposta, 3 t ha ⁻¹ B7= Champiñón, 1 t ha ⁻¹ B8= Champiñón, 2 t ha ⁻¹ B9= champiñón, 3 t ha ⁻¹ B10= N60-P60-K30

Design and plot size

The 40 treatments were randomized in the field under an experimental design of randomized complete block with three replications in a split plot arrangement: both cultivars with and without mycorrhiza were assigned to big plot and the nine organic fertilizers and chemical formula formed the small plot (Table 1). The plot consisted of three rows of 9.6 m² with plants spaced at 0.40 m; the useful plot was the central row (3.2 m²).

Inoculation

For *G. fasciculatum* suggested 2 kg ha⁻¹, with 79 spores per g. 0.9 g of inoculum were weighted for each treatment, the night before seeding was applied to the seed and this were disinfected with sodium hypochlorite at 5% for three minutes and then washed with water. The "garapiñado" technique consisted of 300 g of sugar dissolved in 1 L of water; in this the seeds were immersed for 10 seconds, then drained and dusted with mycorrhizal inoculum; the samples were dried on a blanket in absence of light.

Development of experimental work

Soil preparation consisted of fallow and harrowing. Manual seeding was held on April 17 2013. Treatment 60 N-60P-30K was prepared with urea (46% N), triple calcium superphosphate (46% P) and potassium chloride (60% K). Along sowing incorporated manure, vermicompost

vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (PVP: se determinó en g con una báscula digital), semillas limpias (NSL), semillas manchadas (NSM), peso de semillas limpias (PSL: en g), peso de semilla manchada (PSM, en g), peso de 100 semillas (PS100, en g) y rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹) (Pérez *et al.*, 2014).

and mushroom compost in 1, 2 and 3 t ha⁻¹. The chemical composition of fertilizers are shown in Table 2. On April 24 was applied an irrigation. Weeding out were held on May 13 and July 4. Weed control was manual. To prevent diseases applied 1 kg ha⁻¹ of Manzate (mancozeb). To reduce disease incidence applied Rogor (dimethoate) at doses of 250 g

Cuadro 2. Composición fisicoquímica de los tres abonos orgánicos.

Table 2. Physico-chemical composition of the three organic fertilizers.

Características	Lombricomposta (L *)	Gallinaza (G**)	Composta de hongo (H***)
Humedad (%)	20 a 40	5 -55	-----
pH	5.5 a 8.5	7 -7.8	6-8.4
Materia orgánica (%)	20 a 50	25 a35	36.98
Relación C/N	≤ 20	8 a14	≤ 14.1
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS cm ⁻¹	13.48	15.86
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	>40 cmol Kg ⁻¹	-----	>33.7 cmol Kg ⁻¹
Densidad aparente (DA)	0.40 a 0.90 g mL ⁻¹	0.74 g cm ⁻³	0.37 g cm ⁻³
N total (%)	1 - 4	2.5 -5	1.52
P (%)	2.18	1.0-3.5	203.8 ppm
K (%)	0.79	1.4 -4	319.3 ppm
Ca (%)	1.33	5.6	176.9 ppm
Mg (%)	1.21	0.7	270.5 ppm
Na (%)	0.12	-----	142 ppm
Carbono orgánico (%)	18.57	-----	21.45

Fuente: Norma NMX-FF-109-SCF1-(2008) *; Romero *et al.* (2000)**; Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx***.

Para colonización se eligieron al azar tres plantas en cada parcela útil, con muestreo destructivo y se registró longitud de raíz (LR, en cm), nódulos rosas (NDRs, con un cuenta colonias Q-14 Solbat), nódulos blancos (NDBI, con un cuenta colonias Q-14 Solbat), colonización [% COL: con la técnica de Philips y Hayman (1970) a partir de 10 fragmentos de raíz teñida de 1.0 cm de longitud se registró la presencia de estructuras propias del hongo MA por cada campo óptico de observación microscópica a 400 x. Se consideró el número de campos en los que se vio alguna estructura, sobre el número de campos vistos y se multiplicó por 100. Después se cuantificó la presencia de estructuras fúngicas; [vesículas (% VES), arbusculos (% ARB) e hifas (% HIF)]. Para la tinción de las muestras de raíz se usaron los reactivos de hidróxido de potasio al 10%, peróxido de hidrógeno al 10%, ácido clorhídrico IN, lacto-glicerol y azul de triptófano al 0.05%.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y a la comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$). Las medias aritméticas de los 40 tratamientos para las 21

in 100 L of water, before flowering; also applied 100 L ha⁻¹ of Anasac (Cyhalotrin) to control aphids. Harvest was made in December 2013.

Study variables

10 plants were selected in the useful plot and recorded: days to flowering (DF), floral knots (NNF, in its central axis), plant height (AP: cm from the base of the main stem), height to the first pod (APV: cm from the base of the main stem to the base of the first pod), leaf greenness index (IV: determined with SPAD 502 plus), branches per plant (NR), pods per plant (NVP), weight pod per plant (PVP: was determined in g with a digital scale), clean seeds (NSL), stained seeds (NSM), weight of clean seeds (PSL: g), weight of stained seed (PSM, g), 100 seeds weight (PS100, g) and grain yield (RG, t ha⁻¹) (Pérez *et al.*, 2014).

For colonization were randomly selected three plants in each useful plot, with destructive sampling and recorded root length (LR, cm), pink nodules (NDRs, with a colony counter Q-14 Solbat), white nodules (NDBI, with colony

variables fueron utilizadas para generar la matriz de datos que permitió la obtención del análisis de componentes principales (Sánchez, 1995; Pérez *et al.*, 2014).

Resultados y discusión

Análisis de varianza

Los efectos para ambos factores y para su interacción fueron significativos en 19 de las 21 variables (Cuadro 3); Los niveles del factor A (cultivar+micorriza) fueron significativamente diferentes ($P=0.01$) en 20 variables. Los diez niveles del factor B (abonos) contribuyeron a la diferenciación fenotípica ($p=0.01$) de DF, NNF, AP, APV, IV, NR, NVP, PVP, NSL, PSL, P100S, RG LRz, NDRs, NDBs, %COL, %VES, %ARB, y %HIF. Estos resultados muestran una respuesta favorable en *Vicia faba* al usar micorrizas (Gosling *et al.*, 2006) y abonos orgánicos (Castro *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2010). La interacción A x B también fue significativa. En otro estudio hubo efecto positivo de la micorriza arbuscular con composta de estiércol o residuo de cosecha (Saif, 1986) al aumentar el potencial del inóculo micorrízico en el suelo.

Comparación de medias para el factor A (cultivar + micorrizas)

Con *G. fasciculatum* el cv. San Pedro (C1) expresó el máximo promedio en nudos florales (15.5), altura de planta (111.01 cm), índice de verdor (49.01), vainas por planta (18.45) y peso de vaina por planta (48.48 g). Esta respuesta fue similar a la reportada por Wu y Zou (2010) en cítricos al adicionar micorrizas. En pesos de semilla, 100 semillas y rendimiento de grano hubo igualdad estadística con relación al testigo; los dos cultivares presentaron el mayor peso de semilla por planta al adicionar micorrizas. El cv. San Pedro mostró diferencias significativas ($\alpha=0.01$) en longitud de raíz, nódulos rosas, nódulos blancos, y porcentajes de colonización, de vesículas y arbusculos. La longitud de raíz (21.50 cm) fue mayor a la reportada por Thanuja *et al.* (2002; 9.95 cm), pero en colonización (58.58%) fue menor al reportado por ellos (79.17%), el porcentaje de arbusculos fue de 54.05; esta característica es importante ya que con estos valores hay mayor absorción de nutrientes y de simbiosis (Cuadro 4).

counter Q-14 Solbat), colonization [% COL: with Philips and Hayman (1970) technique from 10 fragments stained root of 1.0 cm in length recording the presence of self-structures of the fungus MA per each optical space of microscopic observation at 400x. The number of fields in which some structure was seen was considered on the number of fields seen and multiplied by 100. Then quantified the presence of fungal structures; [Vesicles (% VES), arbuscules (% ARB) and hyphae (% HIF)]. To stain root samples the following reagents were used potassium hydroxide 10%, hydrogen peroxide 10%, hydrochloric acid IN, lacto-glycerol and blue tryptophan 0.05%.

Statistic analysis

Data were subjected to analysis of variance and mean comparison with Tukey test ($\alpha=0.01$). Arithmetic means from the 40 treatments for 21 variables were used to generate the data matrix that allowed to obtain the principal component analysis (Sánchez, 1995; Pérez *et al.*, 2014).

Results and discussion

Variance analysis

The effects for both factors and their interaction were significant in 19 of the 21 variables (Table 3); the levels from factor A (cultivar + mycorrhiza) were significantly different ($p=0.01$) in 20 variables. The ten levels from factor B (fertilizer) contributed to phenotypic differentiation ($p=0.01$) of DF, NNF, AP, APV, IV, NR, NVP, PVP, NSL, PSL, P100S, RG, LRz, NDRs, NDBs, % COL, %VES, %ARB and %HIF. These results show a favorable response in *Vicia faba* using mycorrhizae (Gosling *et al.*, 2006) and organic fertilizers (Castro *et al.*, 2009; Álvarez *et al.*, 2010). A x B interaction was also significant. In another study, there was positive effect of arbuscular mycorrhizal with composted manure or crop residue (Saif, 1986) by increasing the potential of mycorrhizal inoculum in the soil.

Comparison of means for factor A (cultivar + mycorrhizae) With *G. fasciculatum* cv. San Pedro (C1) expressed the average maximum in floral knots (15.5), plant height (111.01 cm), greenness index (49.01), pods per plant

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para floración (DF), nudos florales (NNF), alturas de planta (AP) y a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR), vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (PVP), semillas manchadas (NSM), peso de semilla manchada (PSM), semillas limpias (NSL), peso de semilla limpia (PSL), peso de 100 semillas (P100s), rendimiento de grano (RG), longitud de raíz (LRz), nódulos rosas (NDRs), nódulos blancos (NDBs), colonización (% COL), vesículas (% VES), arbusculos (% ARB) e hifas (% HIF).

Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F for flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP) and first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR), pods per plant (NVP), weight of pod per plant (PVP), stained seeds (NSM), weight of stained seed (PSM), clean seeds (NSL), weight of clean seed (PSL), 100 seeds weight (P100S), grain yield (RG), root length (LRZ), pink nodules (NDRs), white nodules (NDB), colonization (% COL), vesicles (% VES), arbuscules (% ARB) and hyphae (% HIF).

FV	gl	DF	NNF	AP	APV	IV	NR	NVP
R	2	201.3 ns	5.99 ns	72.12ns	2.27ns	3.57ns	0.13ns	5.02ns
Error a	6	124.9	1.27	41.92	0.63	3	0.11	0.99
T	39	481.99**	4.77**	401.96**	14.8**	22.86**	0.48**	71.41**
Factor A (C+M)	3	1909.49**	37.1**	3417.31**	15.46**	30.85**	0.9**	40.41**
Factor B (Abonos)	9	365.28**	5.40*	325.82**	23.73**	68.55**	0.26**	267.68**
A x B	27	362.28**	0.974**	92.3**	11.74**	6.75**	0.51**	9.42**
Error b	72	38.42	0.357	16.62	1.39	2.36	0.072	1.86
Total	119							
CV (%)		10.36	4.38	4.11	5.22	3.19	8.55	7.57
X		59.82	13.62	99	22.6	48.22	3.4	18.02

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01; ns, no significativo. F.V.= fuente de variación; GL= grados de libertad; R= repeticiones; T= tratamientos; C+M= cultivares + micorrizas; CV= coeficiente de variación; X= promedio aritmético.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para floración (DF), nudos florales (NNF), alturas de planta (AP) y a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR), vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (PVP), semillas manchadas (NSM), peso de semilla manchada (PSM), semillas limpias (NSL), peso de semilla limpia (PSL), peso de 100 semillas (P100s), rendimiento de grano (RG), longitud de raíz (LRz), nódulos rosas (NDRs), nódulos blancos (NDBs), colonización (% COL), vesículas (% VES), arbusculos (% ARB) e hifas (% HIF) (Continuación).

Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F for flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP) and first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR), pods per plant (NVP), weight of pod per plant (PVP), stained seeds (NSM), weight of stained seed (PSM), clean seeds (NSL), weight of clean seed (PSL), 100 seeds weight (P100S), grain yield (RG), root length (LRZ), pink nodules (NDRs), white nodules (NDB), colonization (% COL), vesicles (% VES), arbuscules (% ARB) and hyphae (% HIF) (Continuation).

FV	gl	PVP	NSM	PSM	NSL	PSL	P100 S	RG
R	2	350.68**	6.56 ns	50.56 ns	12.16 ns	48.03 ns	29.38 ns	0.88 ns
Error a	6	34.21	9.21	25.51	17.62	64.2	79.92	0.66
T	39	1052.7**	4.87*	22.46**	80.70**	215.96**	8066.25**	0.26*
Factor A (C+M)	3	2436.58**	23.53ns	183.12*	367.31**	656.77**	101774.44**	0.72 ns
Factor B (Abonos)	9	3051.69**	2.95	11.08	164.06**	417.65**	303.31**	0.61**
AxB	27	232.62**	3.45ns	8.41	21.06**	99.75**	241.97**	0.09ns
Error b	72	80.08	2.3	6.57	7.34	24.31	85.45	0.135
Total	119							
CV (%)		10.33	21.8	19.39	13.09	10.47	3.76	18.55
X		86.57	6.95	13.22	20.7	47.09	245.37	1.98

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01; ns, no significativo. F.V.= fuente de variación; GL= grados de libertad; R= repeticiones; T= tratamientos; C+M= cultivares + micorrizas; CV= coeficiente de variación; X= promedio aritmético.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para floración (DF), nudos florales (NNF), alturas de planta (AP) y a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR), vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (PVP), semillas manchadas (NSM), peso de semilla manchada (PSM), semillas limpias (NSL), peso de semilla limpia (PSL), peso de 100 semillas (P100s), rendimiento de grano (RG), longitud de raíz (LRz), nódulos rosas (NDRs), nódulos blancos (NDBs), colonización (% COL), vesículas (%VES), arbusculos (%ARB) e hifas (% HIF) (Continuación).

Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F for flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP) and first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR), pods per plant (NVP), weight of pod per plant (PVP), stained seeds (NSM), weight of stained seed (PSM), clean seeds (NSL), weight of clean seed (PSL), 100 seeds weight (P100S), grain yield (RG), root length (LRZ), pink nodules (NDRs), white nodules (NDB), colonization (% COL), vesicles (% VES), arbuscules (% ARB) and hyphae (% HIF) (Continuation).

FV	gl	LRz	NDRs	NBI	%COL	%VES	%ARB	%HIF
R	2	2.13 ns	3.34 ns	0.046 ns	24.18 ns	1.39ns	19.78 ns	7.87 ns
Error a	6	2.34	0.78	0.3	11.68	3.15	27.5	2.36
T	39	24.84**	144.95**	8.36**	1417.63**	1537.55**	2054.74**	1618.49**
Factor A (C + M)	3	144.75**	1659.24**	10.52**	17371.87**	16093.16**	23872.01**	17735.85**
Factor B (Abonos)	9	19.64**	25.11**	9.25**	120.24**	223.44**	281.61**	356.44**
A x B	27	13.25**	16.64**	7.82**	77.4**	358.3**	221.64**	248.35**
Error b	72	1.03	0.89	0.28	10.89	13.28	12.74	12.28
Total	119							
CV (%)		5.40	5.28	6.14	9.31	8.96	12.98	8.88
X		18.78	17.9	8.74	35.42	40.65	27.49	39.44

*, ** Significativo al 0.05 y 0.01; ns, no significativo. F.V. = fuente de variación; GL = grados de libertad; R = repeticiones; T = tratamientos; C+M = cultivares + micorrizas; CV = coeficiente de variación; X = promedio aritmético.

Cuadro 4. Comparación de medias del factor A (cultivar ± micorrizas) para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP).

Table 4. Comparison of means of factor A (cultivar ± mycorrhizae) to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), first pod height (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP).

Factor A	DF	NNF	AP	APV	IV	NR	NVP
C1 - M	69.23 a	13.56 b	103.05 b	22.27 bc	47.97 ab	2.92 b	16.95 b
C1 + M	63.44 b	15.15 a	111.01 a	22.84 ab	49.02 a	3.13 ab	18.45 a
C2 - M	54.86 c	12.49 c	85.87 d	23.47 a	46.89 b	3.34 a	17.22 b
C2 + M	51.77 c	13.29 b	96.07 c	21.82 c	49.00 a	3.17 a	19.46 a
DMSH	5.16	0.49	3.39	0.98	1.28	0.22	1.13

Valores con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.01$).

Cuadro 4. Comparación de medias del factor A (cultivar ± micorrizas) para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP) (Continuación).

Table 4. Comparison of means of factor A (cultivar ± mycorrhizae) to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), first pod height (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP) (Continuation).

Factor A	PVP	NSM	PSM	NSL	PSL	P100s	RG (tha ⁻¹)
C1 - M	83.04 bc	7.8 a	15.48 a	17.89 c	50.77 a	298.36 a	2.07 a
C1 + M	98.42 a	6.91 ab	13.76 a	18 c	48.48 a	292.88 a	2.11 a
C2 - M	77.11 c	5.77 b	9.7 b	21.67 b	40.23 b	189.55 c	1.76 a
C2 + M	87.71 b	7.27 a	13.94 a	25.24 a	48.88 a	200.7 b	1.96 a
DMSH	7.45	1.26	2.13	2.25	4.1	7.69	0.3

Valores con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.01$). Peso de vaina por planta (PVP), semillas manchadas (NSM), peso de semilla manchada (PSM), semillas limpias (NSL), peso de semillas limpias (PSL), peso de 100 semillas (P100s) y rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹).

Cuadro 4. Comparación de medias del factor A (cultivar \pm micorrizas) para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP) (Continuación).

Table 4. Comparison of means of factor A (cultivar \pm mycorrhizae) to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), first pod height (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP) (Continuation).

Factor A	LRz	NDRs	NDBI	% COL	% VES	% ARB	% HIF
C1 - M	17.42 c	12.59 c	8.84 b	14.41 c	20.48 b	4.37 c	18.37 c
C1+M	21.5 a	26.76 a	9.3 a	58.58 a	59.61 a	54.05 a	58.87 b
C2 - M	16.64 c	10.98 d	7.9 c	14.9 c	20.72 b	1.88 c	18.45 c
C2+ M	19.57 b	21.28 b	8.92 ab	53.81 b	61.77 a	49.66 b	62.06 a
DMSH	0.84	0.78	0.44	2.74	3.03	2.97	2.91

Valores con la misma letra en cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.01$). Longitud de raíz (LRz), nódulos rosas (NRs), nódulos blancos (NBI), colonización (% COL), vesículas (% VES), arbusculos (% ARB) e hifas (% HIF).

En Chile (*Capsicum annuum* L.) se observó una reducción en arbusculos (21.6%), vesículas (42.89%) y colonización total de raíces (62.7%) con relación al testigo al inocular con *G. fasciculatum* (Davies *et al.*, 2002). Dutt *et al.* (2013) mencionaron que hubo una mayor efectividad en la inoculación con *G. fasciculatum* en *Prunus armeniaca* L. Singh *et al.* (2013) reportaron 71% de colonización al combinar *G. fasciculatum* y *G. monteilii*. en *Coleus forskohlii* y con *G. fasciculatum* esta fue de 65%. En otro estudio la adición de *G. fasciculatum* originó un incremento en N, P, K, Ca, y Mg, azúcares solubles, aminoácidos libres, acumulación de prolina y la presencia de una peroxidasa y catalasa en condiciones salinas en trigo (Talaat y Shawky, 2011). Por otra parte se incrementó la sacarosa en cítricos al aplicar *Funneliformis marseae* (Wu *et al.*, 2013). La inoculación con *G. fasciculatum* en cuatro especies forestales en campo y vivero originó un incremento en diámetro basal, altura de planta, pesos seco del follaje y radicular y en la absorción de nutrimentos (Hernández y Salas, 2009).

Factor B (abonos orgánicos)

La gallinaza (B3) y la composta de champiñón (B9) en 3 t ha⁻¹ mostraron la mejor expresión fenotípica en nudos florales (NNF), altura de planta (AP), índice de verdor (IV), vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (NVP), semillas limpias (NSL), peso de semillas limpia (PSL), peso de 100 semillas y rendimiento de grano (RG, 2.42 t ha⁻¹) (Cuadro 5). Estos resultados son similares a los de Pool *et al.* (2000) quienes obtuvieron un incremento en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.)

(18.45) and pod weight per plant (48.48 g). This response was similar to that reported by Wu and Zou (2010) in citrus by adding mycorrhizae. In weights of seed, 100 seeds weight and grain yield were statistically equal to control; the two cultivars had the highest seed weight per plant by adding mycorrhizae. cv. San Pedro showed significant differences ($\alpha=0.01$) in root length, pink nodules, white nodules, and colonization percentages of vesicles and arbuscules. Root length (21.50 cm) was higher than that reported by Thanuja *et al.* (2002; 9.95 cm), but colonization (58.58%) was lower than that reported by them (79.17%), the percentage of arbuscules was 54.05; this characteristic is important because with these values there is greater absorption of nutrients and symbiosis (Table 4).

In pepper (*Capsicum annuum* L.) a reduction in arbuscules (21.6%), vesicles (42.89%), and total root colonization (62.7%) was observed regarding to control by inoculating with *G. fasciculatum* (Davies *et al.*, 2002). Dutt *et al.* (2013) mentioned that it was more effective the inoculation in *Prunus armeniaca* L. with *G. fasciculatum*. Singh *et al.* (2013) reported 71% colonization by combining *G. fasciculatum* and *G. monteilii* in *Coleus forskohlii* and with *G. fasciculatum* this was 65%. In another study the addition of *G. fasciculatum* resulted in an increase in N, P, K, Ca, and Mg, soluble sugars, free amino acids, proline accumulation and presence of a peroxidase and catalase in saline conditions with wheat (Talaat and Shawky, 2011). Moreover sucrose increased in citrus by applying *Funneliformis marseae* (Wu *et al.*, 2013). Inoculation with *G. fasciculatum* in four forest species in field and nursery resulted in an increase of basal diameter, plant height, dry weight of foliage and root and nutrients up take (Hernández and Salas, 2009).

y cacao (*Theobroma cacao* L.) atribuible al aumento del fósforo presente en la gallinaza (Orozco y Thienhaus, 1997). En papa (*Solanum tuberosum* L.) la adición de abonos orgánicos causó mayor producción y calidad de tubérculo (Romero *et al.*, 2000).

Factor B (organic fertilizers)

Chicken manure (B3) and mushroom compost (B9) in 3 t ha⁻¹ showed the best phenotypic expression in floral knots (NNF), plant height (AP), greenness index (IV), pods per

Cuadro 5. Comparación de medias del factor B para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a la primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP).

Table 5. Comparison of means of factor B to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), height to the first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP).

Abonos	DF	NNF	AP(cm)	APV(cm)	IV	NR	NVP
B1	58.67 abcd	13.25 b	97.13 b	23.60 ab	44.77 g	3.21 ab	14.81 d
B2	58.04 bcd	13.19 b	100.28 b	20.59 cd	49.17 bcd	3.13 ab	21.23 b
B3	64.63 ab	14.86 a	107.26 a	22.63 ab	51.76 a	3.39 a	26.2 a
B4	67.08 ab	13.47 b	96.47 b	23.16 ab	45.52 fg	3.06 ab	14.34 de
B5	62.32 abc	13.33 b	96.83 b	23.81 ab	47.95 cde	3.05 ab	14.63 d
B6	68.25 a	13.85 b	95.17 b	22.02 bc	47.59 def	3.38 a	18.95 c
B7	54.42 cd	13.16 b	95.06 b	23.58 ab	48.20 cde	3.14 ab	15.22 d
B8	54.59 cd	13.35 b	96.08 b	23.96 a	50.11 abc	3 ab	17.51 c
B9	57.89 bcd	14.78 a	109.61 a	22.83 ab	51.25 ab	3.1 ab	24.91 a
B10	52.34 d	12.99 b	96.08 b	19.81 d	45.87 efg	2.95 b	12.38 e
DMSH	9.65	0.93	6.35	1.83	2.39	0.41	2.12

Valores con la misma letra en la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.01$).

Cuadro 5. Comparación de medias del factor B para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a la primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP) (Continuación).

Table 5. Comparison of means of factor B to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), height to the first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP) (Continuation).

Abonos	PVP(g)	NSM	PSM(g)	NSL	PSL(g)	P100s (g)	RG(t ha ⁻¹)
B1	81.18 bc	7.25 a	13.18 a	18.55 cd	43.53 cde	247.20 ab	1.83 bc
B2	85.43 bc	6.59 a	12.76 a	22.32 bc	47.00 cd	245.54 ab	1.95 abc
B3	115.15 a	7.95 a	14.53 a	28.33 a	57.86 a	255.33 a	2.42 a
B4	75.71 cd	6.66 a	13.75 a	16.59 d	46.11 cd	237.08 b	2.00 abc
B5	84.73 bc	6.50 a	14.03 a	20.37 cd	47.40 bcd	245.50 ab	2.05 abc
B6	92.49 b	6.77 a	13.08 a	20.64 bcd	49.52 bc	243.66 ab	1.82 bc
B7	74.54 cd	6.29 a	11.15 a	18.30 cd	37.74 e	240.39 b	1.65 c
B8	83.95 bc	7.27 a	13.67 a	20.64 bcd	45.39 cde	242.45 ab	2.00 abc
B9	110.06 a	7.31 a	12.35 a	24.80 ab	54.69 ab	249.16 ab	2.25 ab
B10	62.45 d	6.95 a	13.67 a	16.45 d	41.66 de	247.50 ab	1.80 bc
DMSH	13.94	2.36	3.99	4.22	7.68	14.40	0.57

Valores con la misma letra en la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey, $\alpha=0.01$). Peso de vaina por planta (PVP), semillas manchadas (NSM), peso de semilla manchada (PSM), semillas limpias (NSL), peso de semilla limpia (PSL), peso de 100 semillas (P100s) y rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹).

Cuadro 5. Comparación de medias del factor B para floración (DF), nudos florales (NNF), altura de planta (AP), altura a la primera vaina (APV), índice de verdor (IV), número de ramas (NR) y vainas por planta (NVP) (Continuación).
Table 5. Comparison of means of factor B to flowering (DF), floral knots (NNF), plant height (AP), height to the first pod (APV), greenness index (IV), number of branches (NR) and pods per plant (NVP) (Continuation).

Abonos	LRz(cm)	NDRs	NDBI	%COL	%VES	%ARB	%HIF
B1	20.6 a	16.8 de	8.57 cd	31.65 cd	41.18 bcd	25.65 bcd	38.27 cd
B2	17.7 cde	18.31 bc	9.12 bc	36.53 acb	47.87 a	30.1 bc	42.97 bc
B3	18.06 cde	20.78 a	7.16 e	37.99 ab	40.09 bcd	36.78 a	45.54 ab
B4	17.05 e	17.06 cd	7.84 de	36.39 abc	38.55 cd	30.65 b	41.24 bcd
B5	19.93 ab	18.86 b	8.3 cd	34.4 bcd	43.28 abc	27.47 bc	40.76 bcd
B6	19.25 abc	16.93 cde	8.99 bc	30.4 d	32.17e	27.72 bc	32.3 e
B7	18.05 cde	18.71 b	8.52 cd	34.35 bcd	39.89 bcd	20.25 d	31.76 e
B8	19.01 bcd	17.76 bcd	9.1 bc	40.7 a	44.53 ab	24.97 cd	48.56 a
B9	20.57 ab	18.31 bc	10.33 a	38.32 ab	36.89 de	30.07 bc	37.03 de
B10	17.60 de	15.5 e	9.45 b	33.52 bcd	42.01 bcd	21.22 d	35.93 de
DMSH	1.58	1.47	0.83	5.14	5.67	5.56	5.46

Valores con la misma letra en la misma columna son iguales estadísticamente (Tukey $\alpha=0.01$). Longitud de raíz (LRz), nódulos rosas (NDRs), nódulos blancos (NDBI), colonización(% COL), vesículas (% VES), arbusculos (% ARB) e hifas (% HIF).

En longitud de raíz (20.60) se observó el máximo valor con 1 t ha⁻¹ y nódulos rosas (20.78) con 3 t ha⁻¹ de gallinaza. Pero para nódulos blancos (10.33) el máximo valor se registró en 3 t ha⁻¹ de composta de champiñón. La mayor colonización se tuvo con champiñón en 2 t ha⁻¹ (40.7%). Un 47.87% de vesículas se asoció con la gallinaza en 2 t ha⁻¹, y 36.78% de arbusculos y 45.54% de hifas se atribuye a gallinaza en el nivel más alto (Cuadro 5; Wu y Zou, 2010); sin embargo, el mayor porcentaje de hifas (48.56%) se observó con composta de champiñón en 2 t ha⁻¹. Estos resultados muestran que los abonos orgánicos originan una respuesta positiva en haba, particularmente a la gallinaza. López *et al.* (2001) mencionaron que los abonos orgánicos son una alternativa viable para sustituir o complementar la fertilización inorgánica.

Análisis de componentes principales

Los componentes principales 1 y 2 explicaron 51.42% de la variación total original (Figura 1). Estos porcentajes son deseables para interpretar confiablemente las correlaciones aproximadas que se observan en el biplot (Sánchez, 1995; Pérez *et al.*, 2014). En el cuadrante 1 hubo correlación positiva entre rendimiento (RG) con pesos de 100 semillas (P100S) y semillas limpias (PSL), vainas (NVP) y peso de vaina por planta (PVP), número y peso de semillas manchadas (NSM, PSM), índice de verdor (IV), altura de planta (AP) y nudos florales (NNF). Los tratamientos que interaccionaron favorablemente con estas variables fueron 3, 13 y 13 (RG de 2.46, 2.63 y 2.23 t ha⁻¹). Estos

plant(NVP), pod weight per plant (NVP), clean seeds (NSL), weight of clean seeds (PSL), 100 seed weight and grain yield (RG 2.42 t ha⁻¹) (Table 5). These results are similar to Pool *et al.* (2000) who obtained an increase in yield of maize (*Zea mays* L.) and cocoa (*Theobroma cacao* L.) attributable to increased phosphorus in poultry manure (Orozco and Thienhaus, 1997). In potato (*Solanum tuberosum* L.) the addition of organic fertilizers caused increased production and quality of tuber (Romero *et al.*, 2000).

In root length (20.60) the maximum value with 1 t ha⁻¹ and pink nodules (20.78) with 3 t ha⁻¹ of chicken manure was observed. But for white nodules (10.33) the maximum value was recorded in 3 t ha⁻¹ mushroom compost. The highest colonization was with mushrooms in 2 t ha⁻¹ (40.7%). 47.87% of vesicles was associated with poultry manure at 2 t ha⁻¹ and 36.78% of arbuscules and 45.54% hyphae was attributed to chicken manure at the highest level (Table 5; Wu and Zou, 2010); however, the highest percentage of hyphae (48.56%) was observed with mushroom compost on 2 t ha⁻¹. These results show that organic fertilizers cause a positive response in broad bean, particularly poultry manure. López *et al.* (2001) mentioned that organic fertilizers are a viable option to replace or complement inorganic fertilization.

Principal component analysis

Main components 1 and 2 explained 51.42% of the original total variation (Figure 1). These percentages are desirable to reliably interpret the approximate correlations observed

hechos indican que el incremento en el rendimiento se debe principalmente a una mejora directa e indirecta sobre éstos; así, el mejoramiento genético, la generación, validación, aplicación y transferencia de tecnología debe beneficiar estas interacciones (Pérez *et al.*, 2014).

Estos resultados son similares a los de Neal y Mcvetty (1983) quienes concluyeron que de 68.5 a 76.4% de la variabilidad en el rendimiento de semillas se debe a más vainas por planta (Chaieb *et al.*, 2011), semillas por vaina (Alan y Geren, 2007) y peso de 100 semillas (Baginsky *et al.*, 2013). El índice de colonización (% COL) también estuvo correlacionado con longitud de raíz (LRz), porcentajes de arbusculos (% ARB), hifas (% HIF), vesículas (% VES) y nódulos rosas (NDRs). Este hecho subraya que la aplicación de micorrizas tuvo un efecto positivo en los dos cultivares cuando se adiciona gallinaza y champiñón en dosis de 3 t ha^{-1} (T13, T19, T33 y T39).

En el contexto anterior, T13 (San Pedro con 3 t ha^{-1} de gallinaza y *G. fasciculatum*) y T19 (San Pedro con 3 t ha^{-1} de composta de champiñón y *G. fasciculatum*) contribuyeron significativamente a la mejora en nudos florales (NNF, 15.8 y 16), altura de planta (AP, 121.33 y 123.43 cm), índice de verdor (IV, 52.9 y 52.66) y vainas por planta (NVP, 25.93, 25.73); el primero también lo hizo en pesos de semilla limpia (PSL, 62.53 g) y de 100 semillas (P100S, 301.83 g) y en rendimiento (RG, 2.63 t ha^{-1}). T19 interaccionó positivamente con longitud de raíz (LRz, 27.03), nódulos blancos (NDBI, 12.5), colonización (COL, 72.20%) y arbusculos (ARB 71.46 %) pero estos efectos no incrementaron su RG. El tratamiento 6 (San Pedro con 3 t ha^{-1} de lombricomposta) expresó la mejor calidad de semilla limpia. Este hecho es contradictorio porque en presencia de arbusculos hay mayor eficiencia en la absorción de nutrientes y en la simbiosis cuando hay fósforo disponible, como en gallinaza (Wu y Zou, 2010).

En otro estudios se observó que con *G. fasciculatum* mejoró el crecimiento de *Vitis vinifera* L. y el contenido de fósforo fue 15 veces mayor que en el testigo (Alarcón *et al.*, 2001). Robles *et al.* (2013) reportaron un incremento en longitud de raíz en *Agave angustifolia*. El cv. Santiago con 3 t ha^{-1} de gallinaza más micorrizas mejoró el peso de vainas por planta (PVP, 124.1), semillas limpias (NSL, 32.63), peso de semillas limpias (PSL, 62.4 g), rendimiento de grano (RG, 2.4 t ha^{-1}) y porcentajes de arbusculos (73.3) y de hifas (84.4), valores superiores a los reportados por Singh *et al.* (2013). Estos resultados se atribuyen a que los arbusculos son estructuras fúngicas del tipo de las haustorias,

in the bi-plot (Sánchez *et al.*, 1995; Pérez *et al.*, 2014). In quadrant 1, there was positive correlation between yield (RG) with 100 seeds weight (P100S) and clean seeds (PSL), pods (NVP) and pod weight per plant (PVP), number and weight of stained seeds (NSM, PSM), greenness index (IV), plant height (AP) and floral knots (NNF). Treatments that interacted favorably with these variables were 3, 13 and 13 (RG 2.46, 2.63 and 2.23 t ha^{-1}). These facts indicate that the increase in yield is mainly due to direct and indirect improvements on them; thus, breeding, generation, validation, validation and technology transfer should benefit these interactions (Perez *et al.*, 2014).

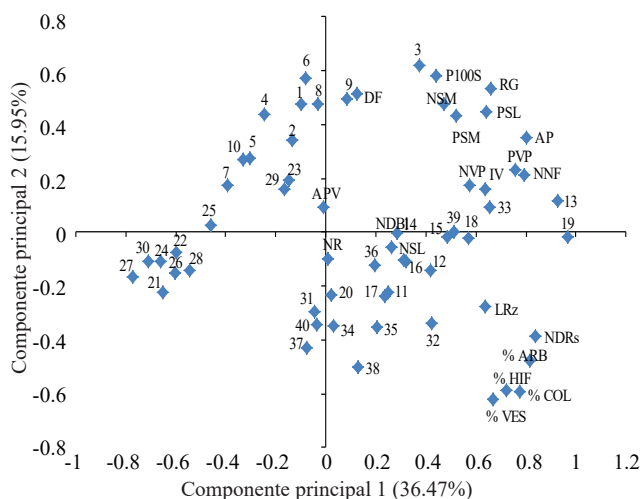


Figura 1. Interrelaciones entre 40 tratamientos (en número) y 21 variables (en letra). 1= San Pedro, sin micorriza y 1 t de gallinaza; 2= San Pedro, sin micorriza y 2 t de gallinaza; 3= San Pedro, sin micorriza y 3 t de gallinaza, ..., 21= Santiago, sin micorriza y 1 t de gallinaza; 22= Santiago, sin micorriza y 2.0 t de gallinaza; 23= Santiago, sin micorriza y 3 t de gallinaza; ..., 40= Santiago, con micorriza y 60N-60P-30K.

Figure 1. Interrelationships between 40 treatments (in number) and 21 variables (in print). 1= San Pedro, without mycorrhiza and 1 ton of chicken manure; 2= San Pedro, without mycorrhiza and 2 tons of chicken manure; 3= San Pedro, without mycorrhiza and 3 tons of chicken manure, ..., 21= Santiago, without mycorrhiza and 1 ton of chicken manure; 22= Santiago, without mycorrhiza and 2.0 tons of chicken manure; 23= Santiago, without mycorrhiza and 3 tons of chicken manure, ..., 40= Santiago, with mycorrhiza and 60N-60P-30K.

These results are similar to those from Neal and McVetty (1983) who concluded that 68.5 to 76.4% of the variability in seed yield is due to more pods per plant (Chaieb *et al.*, 2011), seeds per pod (Alan and Geren, 2007) and 100 seeds

que se generan en el interior de las células corticales y contribuyen al incremento de la capacidad de absorción y aprovechamiento de nutrimentos por ambos participantes de la simbiosis (Alarcón y Ferrera, 2000). Las hifas proveen una mayor superficie de absorción que los pelos radiculares y, por tanto, aumentan significativamente la captación de iones relativamente inmóviles, como fosfato, cobre, y zinc. Rojas y Ortuño (2007) encontraron un efecto positivo al inocular micorrizas y adicionar gallinaza y lombricomposta en hortalizas (Manjarrez *et al.*, 1999).

Conclusiones

Con micorrizas el cv. San Pedro tuvo una mejor respuesta en NNF, AP, IV, NVP, PVP, PSL, P100 S, RS, %COL, LRz, NRs, NBs, %VES, y %ARB. La gallinaza y la composta de champiñón con 3 t ha⁻¹ contribuyeron a una mejor expresión fenotípica en la mayoría de las variables evaluadas. El cv. San Pedro con 3.0 t ha⁻¹ de gallinaza y micorrizas mostraron el mejor comportamiento para AP, IV, NVP, PSL, P100S y RG (2.63 t ha⁻¹). El cv. San Pedro con 3 t ha⁻¹ de composta de champiñón y micorrizas originó mayor porcentaje de COL (72.2%) y de ARB (71.46%), LRz (27.07) y NDBI (12.5). El cv. Santiago con 3 t ha⁻¹ de gallinaza y *G. fasciculatum* tuvo el mayor PVP (124.1), NSL (32.63), PSL (62.4 g), RG (2.4 t ha⁻¹), %ARB (73.3) y % de hifas (84.4).

Literatura citada

- Alan, O. and Geren, H. 2007. Evaluation of heritability and correlation for seed yield components in Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Agron. J.* 6(3):484-487.
- Alarcón, A. y Ferrera, C. R. 1999. Manejo de micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra.* 17(3):179-191.
- Alarcón, A. y Ferrera, C. R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agric. Téc. Méx.* 26(2):91-203.
- Alarcón, A.; González, CH. M. C.; Ferrera, C. R. and Villegas, M.A. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de plántulas de *Vitis vinifera* L. obtenidas por micropropagación. *Terra.* 19:29-35.
- Álvarez, S. J.; Gómez, V. D. A.; León, M. N. S. y Gutiérrez, M. F. A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia.* 44(5):575-586.
- Baginsky, C.; Silva, P.; Auza J. and Acebedo, E. 2013. Evaluation for fresh consumption of new broad bean genotypes with a determinate growth habit in central Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 73(3):225-232.
- weight (Baginsky *et al.*, 2013). The colonization rate (% COL) was also correlated with root length (LRz), arbuscules percentages (% ARB), hyphae (% HIF), vesicles (% VES) and pink nodules (NDRs). This fact underlines that the application of mycorrhizae had a positive effect in both cultivars when chicken manure and mushroom is added at a dose of 3 t ha⁻¹ (T13, T19, T33 and T39).
- In the above context, T13 (San Pedro with 3 t ha⁻¹ of chicken manure and *G. fasciculatum*) and T19 (San Pedro with 3 t ha⁻¹ mushroom compost and *G. fasciculatum*) significantly contributed to the improvement in floral knots (NNF, 15.8 and 16), plant height (AP, 121.33 and 123.43 cm), greenness index (IV, 52.90 and 52.66) and pods per plant (NVP, 25.93, 25.73); the first also did in weight of clean seed (PSL, 62.53 g) and 100 seeds weight (P100S, 301.83 g) and yield (RG 2.63 t ha⁻¹). T19 interacted positively with root length (LRz, 27.03), white nodules (NDBI, 12.5), colonization (COL, 72.2%) and arbuscules (ARB 71.46%) but these effects did not increase its RG. Treatment 6 (San Pedro with 3 t ha⁻¹ vermicompost) expressed the highest quality of clean seed. This fact is contradictory because in the presence of arbuscules there is higher efficiency nutrient absorption and symbiosis when there is available phosphorus, like chicken manure (Wu and Zou, 2010).
- In other studies it was observed that with *G. fasciculatum* improved growth of *Vitis vinifera* L. and phosphorus content was 15 times higher than in control (Alarcón *et al.*, 2001). Robles *et al.* (2013) reported an increase in root length of *Agave angustifolia*. The cv. Santiago with 3 t ha⁻¹ of chicken manure plus mycorrhizal improved pods weight per plant (PVP, 124.1), clean seeds (NSL, 32.63), weight of clean seeds (PSL, 62.4 g), grain yield (RG 2.4 t ha⁻¹) and arbuscules percentage (73.3) and hyphae (84.4), higher values than those reported by Singh *et al.* (2013). These results are attributed to arbuscules are fungal structures haustorium type, that generate inside the cortical cells and contribute to increased capacity of absorption and utilization of nutrients by both participants in symbiosis (Alarcón and Ferrera, 2000). Hyphae provide increased absorption surface than root hairs and thus significantly increase the uptake of relatively immobile ions such as phosphate, copper and zinc. Rojas and Ortuño (2007) found a positive effect by inoculating mycorrhizal and adding chicken manure and vermicompost in vegetables (Manjarrez *et al.*, 1999).

- Castro, A.; Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Rev. Agron. Costarricense*. 33(1):31-43.
- Chaieb, N.; Mohammed, B. and Mars, M. 2011. Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *J. Nat. Prod. Plant Res.* 1(2):81-90.
- Davies, Jr. F. T.; Olalde, P. V.; Aguilera, G. L.; Alvarado, M. J.; Ferrera, C. and Burton, T. W. 2002. Alleviation of drought stress of Chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) with arbuscular mycorrhiza indigenous to México. *Sci. Hortic.* (92):347-359.
- Dutt, S.; Saharma, S. D. and Kumar, P. 2013. Arbuscular mycorrhizas and Zn fertilization modify growth and physiological behavior of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Sci. Hortic.* 155:97-104.
- Eghball, B.; Ginting, D. and Gilley, E. J. 2002. Residual effects of manure and compost application on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96:442-447.
- FAOSTAT. 2013. Base de datos estadísticas de la FAO. <http://www.faostat.fao.org/site/567>.
- Gosling, P.; Hondge, A.; Goodlas, G. and Bending, G. D. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic forming. *Agric. Ecosys. Environ.* 113:17-35.
- Hernández, W. y Salas, E. 2009. La inoculación con *Glomus fasciculatum* en el crecimiento de cuatro especies forestales en vivero y campo. *Agron. Costarricense*. 33(1):17-30.
- Kalia, P. and Sood, S. 2004. Genetic variation association analyses for pod yield and other agronomic and quality characters in an Indian Himalayan collection of broad bean (*Vicia faba* L.). *SABRAD. J. Breed. Genetics.* 36(2):55-61.
- López, M. J. D.; Díaz, E. A.; Martínez, R. E. y Valdez, C. R. D. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Terra*. 19(4):293-299.
- Manjarrez, M. M. J.; Ferrera, C. R. y González, Ch. M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra*. 17(1):9-15.
- Mena, V. H. G.; Ocampo, J. O.; Dendooven, L.; Martínez, S. G.; González, C. J.; Davies, Jr. F. T. and Olalde, P. V. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv. San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza*. 16:261-267.
- Neal, J. R. and Mcvetty, P. B. E. 1983. Yield structure of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in Manitoba. *Field Crops Res.* 8:349-360.
- Orozco, M. y Thienhaus, S. 1997. Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en desarrollo. *Agron. Mesoam.* 8(1):81-92.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Rubí, A. M.; Ramírez, D. J. F.; Castañeda, V. A. y Aquino, M. J. G. 2014. Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(2):264-279.
- Philips, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular micorrhizal fungi for rapid assesment of infection; transactions of the British Mycological Society. 55:158-161.
- Pool, N. L.; Trinidad, S. A.; Etchevers, B. J. D.; Pérez, M. J. y Martínez, G. A. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de los Altos de Chiapas, México: *Agrociencia* 34: 251-259.

Conclusions

Mycorrhizal cv. San Pedro had a better response NNF, AP, IV, NVP, PVP, PSL, P100 S, RS, % COL, LRZ, NRs, NBs, % VES and ARB%. Chicken manure and compost mushroom with 3 t ha⁻¹ contributed to a better phenotypic expression in most of the variables evaluated. The cv. San Pedro with 3.0 t ha⁻¹ of chicken manure and mycorrhiza showed the best performance for AP, IV, NVP, PSL, P100S and RG (2.63 t ha⁻¹). The cv. San Pedro with 3 t ha⁻¹ compost and mycorrhizal mushroom originated COL higher percentage (72.2%) and ARB (71.46%), LRZ (27.07) and NDbi (12.5). The cv. Santiago with 3 t ha⁻¹ of chicken manure and *G. fasciculatum* had the highest PVP (124.10), NSL (32.63), PSL (62.4 g), RG (2.4 t ha⁻¹), % ARB (73.30) and % of hyphae (84.4).

End of the English version



- Rilling, M. and Mummey, D. I. 2006. Mycorrhizae and soil structure. *New Phytologist* 71:41-53.
- Robles, M. M. L.; Robles, C.; Rivera B. F.; Ortega, L. M. L. y Pliego, M. L. 2013. Inoculación con consorcios nativos de hongos de micorriza arbuscular en *Agave agustifolia* Haw. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6:1231-1240.
- Rojas, R. K. y Ortuño, N. 2007. Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*. 3(4):697-719.
- Romero, L. M. D. R.; Trinidad, S. A.; Espinosa, G. R. y Ferrera, C. R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia* 34:261-269.
- Saif, S. R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *AGEW. Bot.* 60:125-139.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:188-203.
- SIAP. 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. Producción nacional de haba para grano. <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh, R.; Soni, S. K. and Kaira, A. 2013. Synergy between *Glomus fasciculatum* and a beneficial *Pseudomonas* in reducing root diseases and improving yield and forskolin content in *Coleus forskohlii* Brinq, under organic field conditions. *Mycorrhiza* 23: 35- 44.
- Smith, F. A. and Smith, S. E. 2011. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants? *Plant Soil*. 384:63-79.
- Talaat, N. B. and Shawky, B. T. 2011. Influence of arbuscular mycorrhizae on yield, nutrients, organic solutes, and antioxidant enzymes of two wheat cultivars under salt stress. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174:283-291.

- Thanuja, T. V.; Helde, R. V. and Screenivasa, M. N. 2002. Induction of rooting and root growth in black pepper cuttings (*Piper nigrum* L.) with the inoculation of arbuscular mycorrhizae. *Sci. Hortic.* 92:339-346.
- West, B.; Brandt, J.; Holstien, K.; Hill, A. and Hill, M. 2009. Fern-associated arbuscular mycorrhizal fungi are represented by multiple *Glomus* spp.: do environmental factors influence partner identity? *Mycorrhiza*. 19:295-304.
- Wu, Q. S. and Zou, Y. N. 2010. Beneficial roles of arbuscular micorrhizas in citrus seedlings at temperatura strees. *Sci. Hortic.* 125:289-293.
- Wu, Q. S. and Zou, Y. N.; Huang, Y. M.; Li, Y. and He, X. H. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi induce sucrose cleavage for carbon supply of arbuscular mycorrhizas in citrus genotypes. *Sci. Hortic.* 160:320-325.