

Evaluación de consorcios micorrícicos arbusculares en el crecimiento vegetal de plantas de maíz, chile y frijol

Alfredo Reyes-Tena^{1,2}, Luis López-Pérez², Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹, Gabriel Rincón-Enríquez¹✉

¹ Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Av. Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco. México. Tel. +52 (33) 33455200 Ext. 1703.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Km 9.5 Carretera Morelia-Zinapécuaro, Col. El Trébol. C.P. 58880. Tarímbaro, Michoacán, México. Tel. +52 (443) 3223500.

Resumen

Los cultivos de maíz, frijol y chile representan una actividad económica importante en México. El uso excesivo de fertilizantes químicos eleva el costo de producción y origina contaminación ambiental, por lo que es necesaria la búsqueda de alternativas sustentables. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) tienen potencial para promover el crecimiento en estas especies vegetales. Con el objetivo de evaluar ocho consorcios micorrícicos procedentes de suelos agaveros del Estado de Michoacán y pertenecientes a la colección del CIATEJ-UMSNH, en la promoción del crecimiento en plantas de maíz, chile y frijol bajo condiciones de invernadero. Se estableció un diseño experimental en bloques completos al azar en invernadero, evaluando los consorcios micorrícicos nativos del suelos agaveros del estado de Michoacán denominados: El Huizachal, Las Campesinas, Rancho Carlos Rojas, El Limón, Agua Dulce, Paso Ancho, Barranca de las Nueces y Cerro del Metate, un control positivo a base de *Glomus* sp. (Endomic[®]) y un control negativo sin HMA. A los 0, 20, 40, 60 y 80 días después del trasplante (DDT), se registró la altura de planta (AP) y diámetro del tallo (DT). A los 80 DDT se registró la biomasa seca total (BS) y el porcentaje de colonización micorrícica total (PCMT). Los datos se sometieron a análisis de varianza y prueba LSD ($P < 0.05$) para determinar diferencias entre los promedios de los consorcios de HMA. Los resultados mostraron que diferentes consorcios micorrícicos promovieron el crecimiento en cada especie vegetal encontrándose selectividad entre HMA-especie vegetal. En maíz, los consorcios que tuvieron un efecto positivo en el crecimiento fueron: Cerro del Metate y Rancho Carlos Rojas con respecto al control sin HMA. En chile, el consorcio Rancho Carlos Rojas mostró los valores más altos en todas las variables evaluadas. En frijol, Agua Dulce y El Huizachal promovieron AP y DT, sin embargo en BS no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. Los consorcios micorrícicos podrían ser un recurso importante en la búsqueda de inoculantes con capacidad para promover el crecimiento vegetal en cultivos de importancia agrícola.

Palabras clave: Micorrizas, *Zea mays*, *Capsicum annuum*, *Phaseolus vulgaris*, *Glomus* sp.

Introducción

Los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), chile (*Capsicum annuum* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son de gran importancia económica a nivel mundial. En México, su valor recae en el ámbito biológico, histórico y económico (Lara-Flores, 2015). El uso excesivo de fertilizantes químicos ha provocado contaminación del suelo, aire y agua por eutrofización

✉ Gabriel Rincón Enríquez, grincon@ciatej.mx

Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Av. Normalistas No. 800, Colinas de la Normal. C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco. México. Tel. +52 (33) 33455200 Ext. 1703.

Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungi consortia on plant growth of maize, pepper and beans plants

Abstract

Crops of corn, beans and pepper represent an important economic activity in Mexico. Excessive use of chemical fertilizers increases the cost of production and causes environmental pollution, so the search for sustainable alternatives is necessary. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) have the potential to promote growth in these plants. In order to evaluate mycorrhizal eight consortia of Agave soil from Michoacán State and belonging to CIATEJ-UMSNH collection, in promoting growth in corn, beans and pepper plants under greenhouse conditions. An experimental design was established in a randomized complete block, evaluating consortia native mycorrhizal soil agave from Michoacán called: El Huizachal, Las Campesinas, Rancho Carlos Rojas, El Limón, Agua Dulce, Paso Ancho, Barranca de las Nueces and Cerro del Metate, a positive control base *Glomus* sp. (Endomic[®]) and negative control without AMF. At 0, 20, 40, 60 and 80 days after transplanting (DAT), plant height (PH) and stem diameter (SD) were recorded. At 80 DAT total dry biomass (DB) and the total percentage of mycorrhizal colonization (TPMC) it was recorded. The data were subjected to analysis of variance and LSD test ($P < 0.05$) to determine differences between means of AMF consortia. Different mycorrhizal consortia promoted growth in each plant species, finding selectivity between AMF-specie plant. In corn, consortia that had a positive effect on growth were: Cerro del Metate and Rancho Carlos Rojas with respect to the control without AMF. In pepper, the consortium Rancho Carlos Rojas showed the highest values in all variables. In beans, Agua Dulce and El Huizachal promoted PH and SD, however BS there was no statistical difference between treatments. The mycorrhizal consortia could be an important resource in the finding of inoculants with ability to promote plant growth in crops of agriculturally importance.

Key words: Mycorrhizae, *Zea mays*, *Capsicum annuum*, *Phaseolus vulgaris*, *Glomus* sp.

(Hu *et al.*, 2005); por este motivo, existe el interés por la disminución de éste tipo de fertilización (García *et al.*, 2010). Una alternativa para sustituir o complementar esta tecnología es la aplicación de microorganismos promotores del crecimiento vegetal (Adesemoye y Kloepper, 2009). En este sentido, se sabe que los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) son capaces de establecer una simbiosis con el 95% de las especies de plantas en el mundo (Carreón-Abud *et al.*, 2008), proporcionándoles una mayor área de exploración en las raíces e incrementar la eficiencia en el aprovechamiento de agua y nutrientes minerales (Harrier, 2001). Los HMA son capaces de inducir resistencia sistémica

en la planta contra factores de estrés biótico y abiótico, además de competir contra fitopatógenos mediante diferentes mecanismos de acción (Azcón-Aguilar, 1996). Los beneficios de ésta asociación se ven reflejados en la promoción del crecimiento, biomasa vegetal e incremento de la productividad en plantas de interés agrícola (Barrer, 2009). Por este motivo, los HMA son comúnmente estudiados en la biofertilización (Montero et al., 2010), sin embargo es necesaria la búsqueda y evaluación de nuevos inóculos o consorcios micorrícicos que sean capaces de promover el crecimiento vegetal para mejorar ésta tecnología dentro de la agricultura sustentable (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Por otro lado, es recomendable el uso de consorcios micorrícicos nativos, efectivos y de composición mixta para no alterar la diversidad de las poblaciones existentes en el suelo mediante el uso de microorganismos introducidos (Sharma et al., 2009). En diversos estudios realizados en maíz, se ha reportado un incremento de rendimiento de grano por efecto de los HMA nativos del suelo de hasta 25% con respecto a la fertilización química, sobre todo en suelos con baja fertilización de fósforo (Díaz et al., 2005). Otros autores han indicado que existe sinergismo entre los HMA y la adición de fertilizantes químicos en el crecimiento y rendimiento de grano (Pitakdantham et al., 2007). Entre otros beneficios de los HMA reportados en maíz son la supresión de cierto tipo de malezas (Veiga et al., 2011) y menor incidencia de plantas parásitas (Otrhira et al., 2012). Considerando algunas de las ventajas de la simbiosis micorrícica en el cultivo de maíz, se ha calculado que la rentabilidad aumenta entre un 12-14% por el uso de biofertilizantes a base de HMA con respecto a la fertilización tradicional (Díaz, 2010). En plantas de chile (*Capsicum annum* L.) se han desarrollado investigaciones para evaluar la eficiencia de los HMA en el crecimiento. Montero et al. (2010) investigaron el efecto de la inoculación de estos hongos en suelos con problemas de sequía y reportaron un incremento en el crecimiento y el rendimiento productivo de hasta un 30%, debido principalmente a que el micelio extrarradical de los HMA incrementó considerablemente el área de exploración de las raíces en el suelo. Lo que resultó en una mayor eficiencia en el aprovechamiento de agua y nutrientes para la planta. Alonso-Contreras et al. (2013) al evaluar distintos consorcios micorrícicos aislados de la rizósfera de manzano (*Malus domestica* B.), encontraron que, los HMA fueron capaces de promover el crecimiento en plantas de chile, reflejado en un mayor diámetro del tallo y área foliar. Otros estudios han reportado que, la inoculación de HMA en plantas de chile bajo condiciones de invernadero y campo promueve el crecimiento de las plantas, incrementando la biomasa vegetal al mismo tiempo que disminuye la severidad de enfermedades de importancia económica como la marchitez (Ozgonen y Erkilic, 2007). En otros trabajos se ha encontrado que el chile, podría ser una especie muy afín a la micorrización al encontrarse elevados porcentajes de colonización micorrícica en las raíces de hasta 93.98% (Tanwar et al., 2013). Con respecto al frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Herrera-Corrales et al. (2014), mostraron que el

uso de consorcios micorrícicos nativos de suelos desérticos fueron capaces de estimular el crecimiento en plantas de frijol sometidas a estrés hídrico y salino. Por este motivo, la búsqueda de nuevos bio-inoculantes a base de HMA nativos de suelos agrícolas con potencial para su aplicación como biofertilizantes podría ser una herramienta importante para incrementar la productividad de cultivos como el maíz, chile y frijol. Por lo cual el objetivo de éste trabajo fue evaluar el efecto promotor del crecimiento de consorcios micorrícicos arbusculares provenientes de suelos agaveros del Estado de Michoacán: El Huizachal (EH-ME1), Las Campesinas (LC-ME1), Rancho Carlos Rojas (CR-ME1), El Limón (EL-MTu1), Agua Dulce (AD-MTu1), Paso Ancho (PA-MT1), Barranca de las Nueces (BN-MT1) y Cerro del Metate (CM-MT1); en plantas de maíz, frijol y chile bajo condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento permaneció durante 80 días después del trasplante de los meses de Junio-Agosto del 2012 en un invernadero tipo cenital cubierto con plástico que reguló la intensidad de la luz permitiendo una radiación total del 80%. El invernadero pertenece al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) de la UMSNH ubicado en Morelia, México (latitud: 19°45'95" N; longitud: 101°09'16"; altitud: 1900 m).

Consortios micorrícicos evaluados

Se evaluaron ocho consorcios micorrícicos aislados de tres municipios de Michoacán a partir de la rizósfera de *Agave cupreata*, los cuales son pertenecientes a la colección de HMA compartida entre el CIATEJ y la UMSNH: Tzitzio, sitios Cerro del Metate (CM-MT1), Barranca de las Nueces (BN-MT1) y Paso Ancho (PA-MT1). Etúcuaro, sitios Rancho Carlos Rojas (CR-ME1), El Huizachal (EH-ME1) y Las Campesinas (LC-ME1). Morelia-Madero (Tumbisca), sitios El limón (EL-MTu1) y Agua Dulce (AD-MTu1); estos consorcios se encuentran descritos en Reyes-Tena (2012). La (s) especie (s) de HMA más abundantes registradas en cada consorcio micorrícico fueron las siguientes: CM-MT1: *Glomus glomerulatum*, BN-MT1: *Acaulospora excavata*, PA-MT1: *Acaulospora delicata*, CR-ME1: *Glomus deserticola*, EH-ME1: *Glomus deserticola*, LC-ME1: *Acaulospora scrobiculata*, EL-MTu1: *Glomus deserticola*, AD-MTu1: *Claroideoglomus claroideum*.

Sustrato y material vegetal

El sustrato utilizado en el experimento fue una mezcla de suelo-arena de río esterilizada (120 °C /3h /3 días) en proporción 1:1 (v/v). Las semillas de maíz empleadas fueron del cultivar "Jaguar", de chile jalapeño y de frijol del Rancho Los Molinos®. Las semillas de las tres especies vegetales, se sembraron en charolas de plástico con arena de río esterilizada. Cuando las plantas presentaron sus primeras dos hojas verdaderas, para el caso de chile fue a los 40 días después de la siembra, para maíz y frijol a los 25 días, estas fueron trasplantadas a macetas de bolsas de polietileno perforadas, con 4

kg de sustrato. Al momento del trasplante, se realizó la inoculación con los consorcios micorrícicos en el sistema radical de cada planta, colocando 80 esporas de HMA contenidas en arena, esto con la finalidad de garantizar la colonización micorrícica. Los inóculos empleados se obtuvieron de macetas de propagación de HMA. Durante todo el experimento, se aplicaron riegos con agua desionizada cada tres días para mantener el sustrato a capacidad de campo.

Variables de crecimiento vegetal y micorrización

Se realizaron cuatro muestreos cada 20 días después del trasplante, donde se registró altura de planta (AP) y diámetro del tallo (DT). La AP se determinó con una regla graduada en centímetros, desde la base del tallo hasta el ápice de la última hoja en el caso de chile, para el caso del maíz se tomó en cuenta hasta la base de la última hoja apical. El DT expresado en centímetros, se determinó con un vernier digital a la altura de la base del tallo a ras del sustrato. A los 80 días después del trasplante (DDT) se registró la biomasa seca total (BST), esta se obtuvo con una balanza analítica (Mettler Toledo AT200) después de haber secado las muestras de tejido vegetal fresco en un horno a 60 °C / 3 días. A los 80 DDT se determinó el porcentaje de colonización micorrícica total (PCMT), para observar el micelio intraradical, vesículas, arbuscúlos y esporas se empleó la técnica de tinción de raíces con tinta china y vinagre descrita por Vierheilig *et al.* (1998), posteriormente se registró el PCMT con el método descrito por McGonigle *et al.* (1990) mediante la siguiente fórmula:

Dónde: PCMT = Porcentaje de colonización micorrícica total.

Diseño experimental y análisis estadístico de datos

Una maceta con una planta fue la unidad experimental, estas unidades fueron distribuidas en un diseño experimental en bloques completos al azar. Se evaluaron ocho consorcios micorrícicos (EH-ME1, LC-ME1, CR-ME1, EL-MTu1, AD-MTu1, PA-MT1, BN-MT1 y CM-MT1), un control positivo, que consistió de un producto comercial elaborado a base de *Glomus* sp. (Endomic®) el cual está recomendado para su aplicación en las especies vegetales evaluadas en este estudio y un control negativo sin HMA (S/HMA), esto originó un total de 10 tratamientos por especie vegetal con 10 repeticiones. Los datos se sometieron a análisis de varianza con un nivel de significancia ($P \leq 0.05$), para determinar diferencias estadísticas entre medias se utilizó la prueba múltiple de medias LSD ($P \leq 0.05$). Finalmente se correlacionaron las variables de colonización micorrícica y BST mediante el índice de correlación de Pearson con el programa estadístico Statgraphics (2005).

Resultados

Los resultados de AP y DT en plantas de maíz fueron afectados por la inoculación con los consorcios micorrícicos (Fig. 1a, b). Para AP (Fig. 1a) los consorcios micorrícicos CM-MT1, PA-MT1, CR-ME1 y el control positivo (Endomic®) promovieron un incremento significativo ($P < 0.05$) en AP

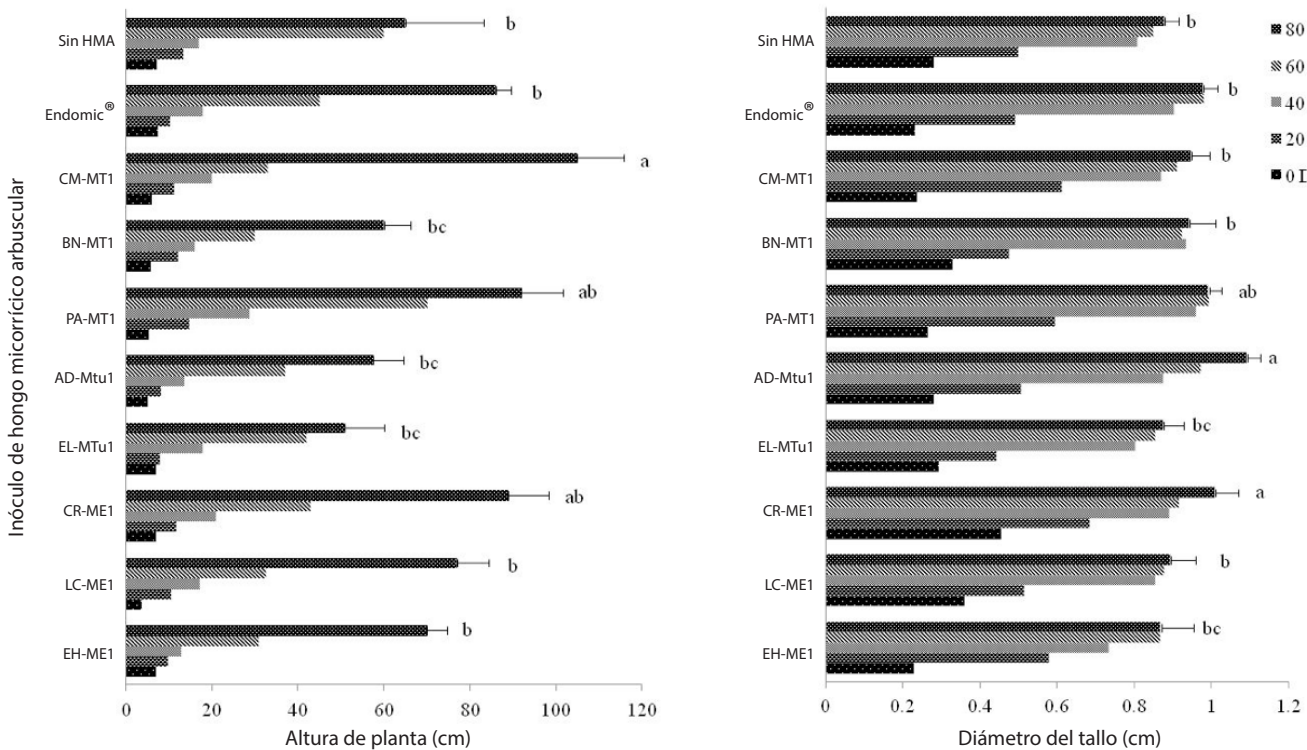


Figura 1. Crecimiento en altura de planta y diámetro del tallo en plantas de maíz por efecto de la inoculación con distintos consorcios micorrícicos. EH-ME1 (El Huizachal), LC-ME1 (Las Campesinas), CR-ME1 (Cerro del Metate), EL-MTu1 (El Limón), AD-MTu1 (Agua Dulce), PA-MT1 (Paso Ancho), BN-MT1 (Barranca de las Nueces), CM-MT1 (Cerro del Metate). La barra a los 80 DDT indica la desviación estándar. DDT= Días después del trasplante. Letras diferentes en barras indican diferencias estadísticas de acuerdo a LSD ($P < 0.05$).

respecto al control negativo a los 80 DDT. En DT (**Fig. 1b**), AD-MTu1, CR-ME1 y PA-MT1, fueron capaces de incrementar el crecimiento a los 80 DDT. En la **figura 1b**, se observa que las plantas inoculadas con el control negativo dejaron de crecer a partir de los 60 DDT, a diferencia de los consorcios micorrícicos mencionados. Esto confirmó una relación entre DT y AP por efecto de la inoculación con los consorcios CR-ME1 y PA-MT1, al promover el crecimiento vegetal en plantas de maíz.

En plantas de chile, AP y DT mostraron diferencias entre tratamientos (**Fig. 2a, b**), donde el consorcio proveniente del sitio Rancho Carlos Rojas (CR-ME1) obtuvo el valor más alto en AP con 23 cm a los 80 DDT. Mientras que el tratamiento con menor AP se presentó en el control positivo (EndoMic®) con solo 13 cm (**Fig. 2a**). Los mayores valores en DT se presentaron en el consorcio PA-MT1, al igual que los consorcios CR-ME1 y AD-MTu1, superando a ambos controles (**Fig. 2b**). Esto refleja que el consorcio micorrícico CR-ME1 podría contener especies de HMA que sean efectivas en promover el crecimiento vegetal de las plantas de chile.

Los resultados de la medición de AP y DT en plantas de frijol a lo largo del experimento (**Fig. 3a, b**), mostraron variaciones entre los tratamientos. A los 80 DDT el consorcio AD-MTu1 mostró los valores más altos en AP con 37 cm (**Fig. 3a**), en comparación con el consorcio LC-ME1 (9.28 cm), el

cual mostró resultados estadísticamente inferiores al control sin HMA (16 cm). Con respecto a DT (**Fig. 3b**), los consorcios micorrícicos EH-ME1 y CM-MT1 fueron efectivos en promover el crecimiento (0.45 y 0.40 cm, respectivamente). Mientras que CR-ME1 (0.33 cm) y PA-MT1 (0.34 cm) tuvieron un DT cercano al del control negativo (0.31 cm), siendo estos los valores más bajos.

Los resultados de BS mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P < 0.05$) en las plantas de maíz y chile, con excepción de las plantas de frijol (**Tabla 1**). En plantas de maíz el consorcio micorrícico CM-MT1 favoreció mayor biomasa vegetal con respecto al resto de los tratamientos con HMA. En plantas de chile CR-ME1 fomentó la BS al registrar el valor más alto siendo estadísticamente superior al control sin HMA. En plantas de frijol no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para esta la biomasa seca.

Con respecto a la colonización micorrícica, en plantas de maíz se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$) (**Tabla 1**), donde las plantas inoculadas con CM-MT1 mostraron el mayor porcentaje de colonización micorrícica con 95.3%, a diferencia del consorcio EL-MTu1 donde sólo se registró un 22.3%. En el control sin HMA no se encontró colonización micorrícica. En contraste, en plantas de chile el consorcio EL-MTu1 registró la mayor

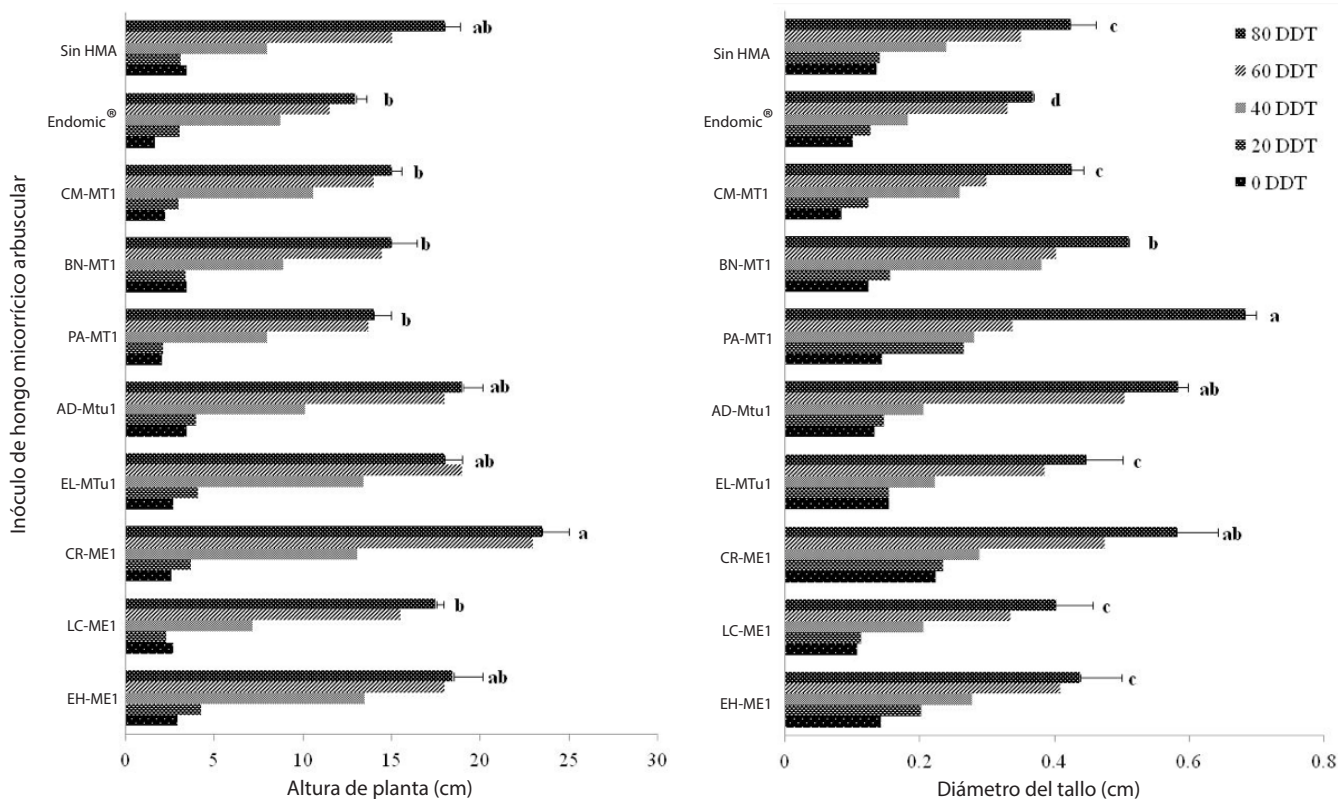


Figura 2. Dinámica del crecimiento en altura de planta y diámetro del tallo en plantas de chile por efecto de la inoculación con diferentes consorcios micorrícicos. EH-ME1 (El Huizachal), LC-ME1 (Las Campesinas), CR-ME1 (Cerro del Metate), EL-MTu1 (El Limón), AD-MTu1 (Agua Dulce), PA-MT1 (Paso Ancho), BN-MT1 (Barranca de las Nueces), CM-MT1 (Cerro del Metate). La barra a los 80 DDT indica la desviación estándar. DDT= Días después del trasplante. Letras diferentes en barras indican diferencias estadísticas de acuerdo a LSD ($P < 0.05$).

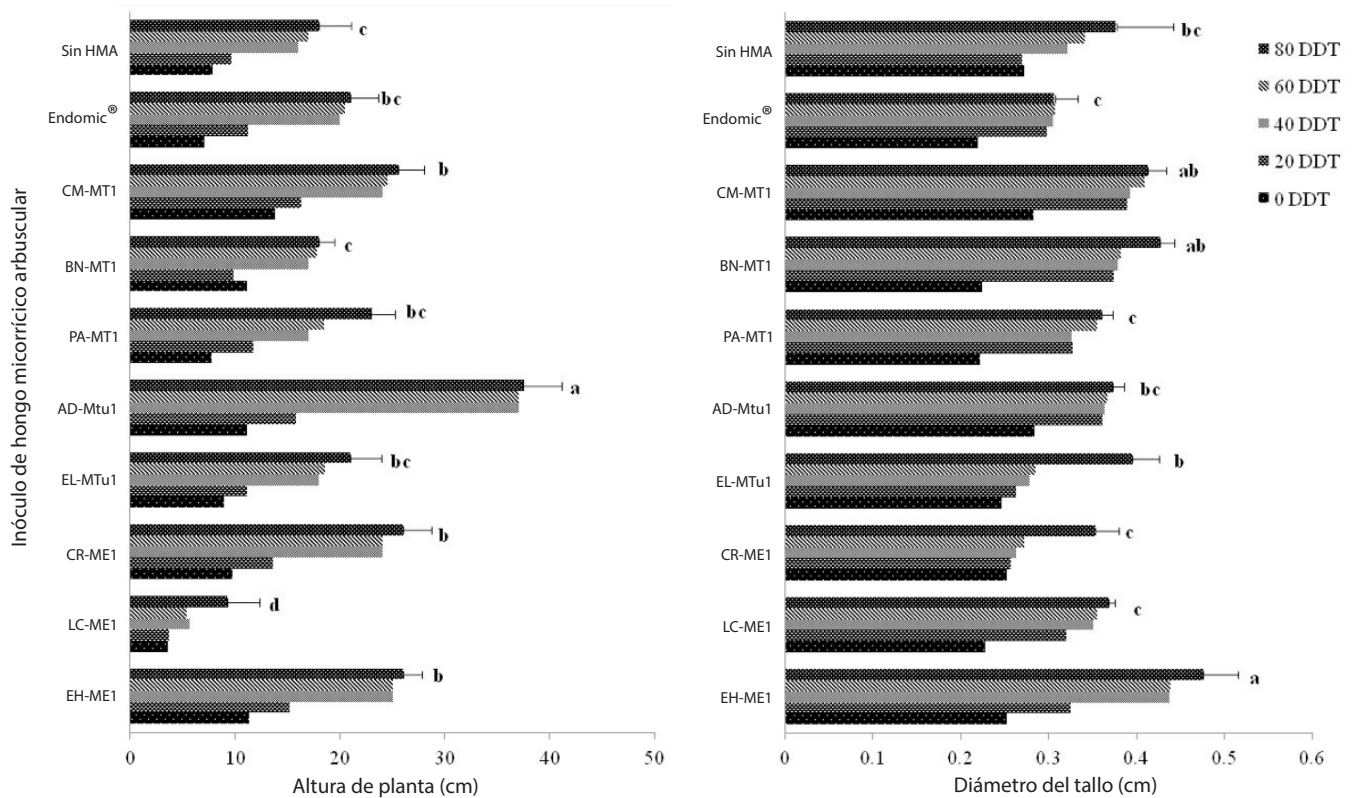


Figura 3. Crecimiento en altura de planta y diámetro del tallo en plantas de frijol por efecto de la inoculación con distintos consortios micorrícicos. EH-ME1 (El Huizachal), LC-ME1 (Las Campesinas), CR-ME1 (Cerro del Metate), EL-MTu1 (El Limón), AD-MTu1 (Agua Dulce), PA-MT1 (Paso Ancho), BN-MT1 (Barranca de las Nueces), CM-MT1 (Cerro del Metate). La barra a los 80 DDT indica la desviación estándar. DDT= Días después del trasplante. Letras diferentes en barras indican diferencias estadísticas de acuerdo a LSD ($P < 0.05$).

colonización micorrícica con 83.3%, seguido de CR-ME1 con 80%, en el control negativo tampoco se registraron estructuras de micorrización (Tabla 1). En plantas de frijol no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($P > 0.05$), sin embargo se encontraron nódulos bacterianos de *Rhizobium* en las raíces de las plantas de los diferentes tratamientos evaluados.

Discusión

Los consortios micorrícicos promueven el crecimiento en función de la especie vegetal

A pesar de que se inoculó la misma cantidad de esporas por planta de cada consorcio en cada especie vegetal analizada, a los 80 DDT los consortios micorrícicos promovieron el crecimiento diferencial en cada especie vegetal. Por ejemplo, en maíz, los consortios CM-MT1 y CR-ME1 mostraron los valores más elevados en las diferentes variables evaluadas, en frijol los consortios más efectivos fueron AD-MTu1 y EH-ME1 para AP y DT respectivamente, en chile el consorcio micorrícico que promovió el crecimiento en todas las variables incluyendo el porcentaje de colonización micorrícica fue CR-ME1. Lo anterior sugiere la existencia de mayor afinidad con la especie vegetal por parte de las especies de HMA más abundantes o especies únicas contenidas en los consortios micorrícicos, por ejemplo en

el caso de CR-ME1 contuvo dos especies únicas para este consorcio: *Diversispora aurantia* y *Sclerocystis rubiformis*, donde es posible que una mayor afinidad de estos HMA con las plantas de chile se tradujo en un mayor crecimiento vegetal. Al respecto, Barrer (2009) menciona que puede existir especificidad entre los HMA y las especie vegetal debido a características como el metabolismo de la planta, la arquitectura de la raíz y las estrategias ecológicas de los hongos, donde intervienen mecanismos de reconocimiento a nivel de rizósfera. Por otro lado también existen HMA “efectivos” en la promoción del crecimiento vegetal que no necesariamente son muy “infectivos” colonizando la raíz de las plantas (Tapia-Goné *et al.*, 2010), en este sentido se encontró que CM-MT1 fue infectivo y efectivo en plantas de maíz al encontrar una correlación positiva entre el porcentaje de colonización micorrícica y la biomasa seca total ($r=0.93$). Este efecto fue similar en plantas de chile colonizadas con el consorcio CR-ME1, a nivel de correlación mostró un valor $r=0.91$, lo cual indica una asociación positiva entre la colonización micorrícica y la biomasa seca total.

Efecto de distintos consortios de HMA en la promoción del crecimiento de maíz, chile y frijol

La promoción del crecimiento vegetal en plantas de maíz por los consortios micorrícicos CM-MT1, PA-MT1 y CR-ME1 podría deberse a que estos consortios contienen especies

Tabla 1. Promoción del crecimiento vegetal en biomasa seca total (BST) y colonización micorrícica (en porcentaje -PCMT-) por efecto de la inoculación de HMA en plantas de maíz, chile y frijol a los 80 días después del trasplante.

Tratamiento (inoculo de HMA)	Maíz		Chile		Frijol
	BST	PCMT	BST	PCMT	BST
EH-ME1	8.70 ^b	70.0 ^{ab}	0.53 ^c	65.0 ^{abc}	0.22 ^a
LC-ME1	8.63 ^b	39.0 ^{cd}	0.83 ^{abc}	56.7 ^c	0.04 ^a
CR-ME1	9.46 ^{ab}	33.3 ^d	1.10 ^a	80.0 ^{ab}	0.12 ^a
EL-MTu1	9.41 ^{ab}	22.3 ^d	0.95 ^{ab}	83.3 ^a	0.27 ^a
AD-Mtu1	9.51 ^{ab}	29.0 ^d	0.56 ^c	63.3 ^{abc}	0.17 ^a
PA-MT1	9.66 ^{ab}	57.7 ^{bc}	0.53 ^c	53.3 ^c	0.23 ^a
BN-MT1	8.05 ^b	61.0 ^{bc}	0.95 ^{ab}	61.7 ^{abc}	0.06 ^a
CM-MT1	11.56 ^a	95.3 ^a	0.63 ^{bc}	63.3 ^{abc}	0.20 ^a
Endomic®	10.48 ^{ab}	27.7 ^d	0.80 ^{abc}	58.3 ^{bc}	0.02 ^a
Sin HMA	9.46 ^{ab}	0.0 ^e	0.51 ^c	0.0 ^d	0.11 ^a

EH-ME1 (El Huizachal), LC-ME1 (Las Campesinas), CR-ME1 (Carlos Rojas), EL-MTu1 (El Limón), AD-MTu1 (Agua Dulce), PA-MT1 (Paso Ancho), BN-MT1 (Barranca de las Nueces), CM-MT1 (Cerro del Metate). No se determinó PCMT en frijol. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD ($P < 0.05$).

(*Acaulospora delicata* y *Glomus deserticola*), únicas de HMA más efectivas que pueden favorecer el crecimiento vegetal en maíz de forma sinérgica. La mayor colonización micorrícica registrada en CM-MT1 se correlacionó positivamente con BST. Estos resultados son similares a lo reportado por Otrira et al. (2012) donde en plantas de maíz, *Glomus etunicatum* registró mayor colonización y promoción del crecimiento. El incremento de los valores de AP, DT y BST al final del experimento, podría estar asociado con la presencia de mayor actividad de los HMA durante la etapa fenológica de inicio de la floración del maíz que coincide con lo reportado por Grigera et al. (2007). Resultados similares encontraron Zorer-Celebi et al. (2010) al reportar un mayor crecimiento por efecto de la inoculación con HMA mostrado en mayor altura de planta y rendimiento de follaje fresco y seco (hojas y tallo) en plantas de maíz.

Con respecto a la promoción del crecimiento en plantas de chile y mayor colonización micorrícica por efecto de la inoculación de CR-ME1 a los 80 DDT, los resultados de éste trabajo fueron similares a los reportados por Díaz-Franco et al. (2013) donde mostraron que la inoculación con HMA en plantas de pimiento bajo condiciones de invernadero promovió el crecimiento y nutrición al incrementar el índice de clorofila, contenido foliar de N, P, Fe y Zn, y el peso de frutos en un 30% respecto a plantas no micorrizadas. Por su parte, Alonso-Contreras et al. (2013), reportó que diferentes consorcios micorrícicos aislados de la rizósfera de árboles de manzano incrementaron significativamente los valores de diámetro del tallo y área foliar en plantas de chile. Por otro lado, Kim et al. (2010) reportaron que la inoculación de un consorcio de tres HMA y dos cepas de la rizobacteria *Methylobacterium oryzae* incrementaron significativamente

la biomasa fresca en plantas de pimiento rojo (*Capsicum annuum*). Estos resultados reflejan que ciertos consorcios de HMA tienen potencial para promover el crecimiento vegetal y podrían ser empleados en estrategias de biofertilización en plantas de chile.

Finalmente respecto a frijol se han reportado algunos trabajos sobre el efecto en el crecimiento vegetal en función de la inoculación con HMA, Ibibijen et al. (1996) al evaluar diferentes HMA en plantas de diferentes variedades de frijol, encontraron que la inoculación con HMA aumentó significativamente la producción de materia seca en 8-23% y la concentración de P en plantas por 160 a 335%. A pesar de que estas variables no se muestran en el presente trabajo, el incremento de las variables de AP y DT podría establecer un incremento del crecimiento por efecto de la inoculación con consorcios de HMA. Sin embargo, al no encontrarse diferencias estadísticas entre los tratamientos en BST, es posible que la presencia de nódulos de *Rhizobium* haya enmascarado el efecto de los HMA en el crecimiento vegetal.

En conclusión, algunos de los consorcios micorrícicos promovieron el crecimiento vegetal en AP, DT y BST dependiendo de la especie vegetal mostrando selectividad, por lo que es importante determinar las especies de HMA afines a cada especie vegetal así como las relaciones específicas que modulan esta interacción. Por otro lado la búsqueda de consorcios micorrícicos eficaces en la promoción del crecimiento de especies vegetales de importancia agrícola podría ser un recurso importante para su aplicación biotecnológica en la agricultura sustentable.

Agradecimientos

Al Fondo Mixto de Fomento Científico y Tecnológico CONACYT-Gobierno del Estado de Michoacán por el financiamiento del proyecto "Utilización de recursos microbianos para el control biológico de la pudrición del cogollo de agave tequilero en la DOT-Michoacán" con clave MICH-2010-03-148208. A la Dra. Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez por facilitar las semillas de maíz cultivar "Jaguar".

Referencias

- Adesemoye AO, Kloepper JW (2009) Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *App. Microbiol. Biotechnol.* 85: 1-12. Referenciado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Alarcón A, Ferrera-Cerrato R (2000) Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México* 26: 191-203. Referenciado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60826207>
- Alonso-Contreras R, Aguilera-Gómez LI, Rubí-Arriaga M, González-Huerta A, Olalde-Portugal V, Rivas-Manzano IV (2013) Influencia de hongos micorrícicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum* L. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 77-88. Referenciado de: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Agricolas/article/view/2433>
- Azcón-Aguilar C, Barea JM (1996) Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens-an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6: 457-464.

Referenciado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s005720050147>

- Barrer SE** (2009) El uso de hongos micorrícicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Fac. Cienc. Agrop.* 7: 123-132.
- Carreón-Abud Y, Gómez-Dorantes N, Martínez-Trujillo M** (2008) Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Biológicas* 10: 60-70. Referenciado de: <http://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/39>
- Díaz FA, Alvarado CM, Cantú AMA, Garza CI** (2005) Fertilización biológica y producción de maíz en la región semiárida del norte de Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México* 31: 153-163. Referenciado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60831204>
- Díaz FA** (2010) *Inoculación de micorriza INIFAP © en Sorgo y Maíz*. Fundación Produce: Tamaulipas. Sistema producto: Sorgo. Campo Experimental Río Bravo INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa km 61. México.
Referenciado de: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Agricolas/article/view/2433>
- Díaz-Franco A, Alvarado-Carrillo M, Ortiz-Chairez F, Grageda-Cabrera O** (2013) Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 315-321. Referenciado de: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Agricolas/article/view/2453>
- García F, Muñoz H, Carreño C, Mendoza G** (2010) Caracterización de cepas nativas de *Azospirillum* spp. y su efecto en el desarrollo de *Oryza sativa* L. "arroz" en Lambayeque. *Scientia Agropecuaria* 1: 107-116. Referenciado de: https://sites.google.com/a/unitru.edu.pe/sci-agropecu/publicacion/scagropv1n2/scagrop01_107-116
- Grigera MS, Drijber RA, Wienhold BJ** (2007) Increased abundance of arbuscular mycorrhizal fungi in soil coincides with the reproductive stages of maize. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1401-1409. Referenciado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071706004913>
- Harrier LA** (2001) The arbuscular mycorrhizal symbiosis: a molecular review of the fungal dimension. *J. Exp. Bot.* 52: 469-478. Referenciado de: http://jxb.oxfordjournals.org/content/52/suppl_1/469.abstract
- Herrera-Corrales LC, Ospina-Alzate DF, Ocampo-Jiménez O** (2014) Efecto de gremios de hongos micorrícicos arbusculares aislados de un ambiente desértico sobre el crecimiento de frijol *Phaseolus vulgaris* bajo una condición de déficit hídrico. *Actual Biol.* 36: 63-72. Referenciado de: [http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/8Herrera-CorralesetalRAB36\(100\)2014.pdf](http://matematicas.udea.edu.co/~actubiol/actualidadesbiologicas/8Herrera-CorralesetalRAB36(100)2014.pdf)
- Hu K, Huang Y, Li H, Chen D, Edlin-White R** (2005) Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International* 31: 896-903. Referenciado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016041200500098X>
- Ibajbajen J, Urquiaga S, Ismaili M, Alves BJR, Boddey RM** (1996) Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition and nitrogen fixation of three varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *New Phytologist* 134: 353-360.
- Referenciado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1996.tb04640.x/abstract>
- Kim K, Yim W, Trivedi P, Madhaiyan M, Deka-Boruah HP, Islam R, Lee G, Sa T** (2010) Synergistic effects of inoculating arbuscular mycorrhizal fungi and *Methylobacterium oryzae* strains on growth and nutrient uptake of red pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Soil* 327: 429-449. Referenciado de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-0072-4>
- Lara-Flores M** (2015) El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria* 16: 1-11.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL, Swan A** (1990) A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501. Referenciado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x/abstract>
- Montero L, Duarte C, Cun R, Cabrera JA, González PJ** (2010) Efectividad de biofertilizantes micorrícicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Trop.* 31:11-14. Referenciado de: <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/81>
- Othira JO, Omolo JO, Wachira FN, Onek LA** (2012) Effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungi in protection of maize (*Zea mays* L.) against witchweed (*Strigaher monthica* Del Benth) infestation. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 4: 37-44. Referenciado de: <http://www.academicjournals.org/journal/JABSD/article-full-text-pdf/42DC7CC1860>
- Ozgonen H, Erkilic A** (2007) Growth enhancement and phytophthora blight (*Phytophthora capsici* Leonian) control by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation in pepper. *Crop Prot.* 26: 1682-1688. Referenciado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219407000634>
- Pitakdantham R, Suwanarit A, Nopamornbodi O, Sarobol E** (2007) Comparative responses to arbuscular mycorrhizal fungi of maize cultivars different in downy mildew resistance and fertilizer requirement. *ScienceAsia* 33: 329-337. Referenciado de: <http://www.scienceasia.org/2007.33.n3/329.php>
- Reyes-Tena A** (2012) Variación estacional de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) asociados al agave mezcalero (*Agave cupreata* Trel & Berger) en Michoacán. *Tesis de licenciatura*. Facultad de Biología, Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo, 90 p.
- Sharma D, Kapoor R, Bhatnagar AK** (2009) Differential growth response of *Curculigo orchioides* to native arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities varying in number and fungal components. *Eur. J. Soil. Biol.* 45: 328-333. Referenciado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556309000387>
- Statgraphics** (2005) *StatGraphics Centurion: ver. XV* (User manual). Stat-Point, Inc. USA. 380 p.
- Tanwar A, Aggarwal A, Kadian N, Gupta A** (2013) Arbuscular mycorrhizal inoculation and super phosphate application influence plant growth and yield of *Capsicum annuum*. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13: 55-66. Referenciado de: [http://jsspn.ufro.cl/volume13/vol13\(1\)55-66.pdf](http://jsspn.ufro.cl/volume13/vol13(1)55-66.pdf)

Tapia-Goné JJ, Ferrera-Cerrato R, Varela-Fregoso L, Rodríguez-Ortiz JC, Soria-Colunga JC, Tiscareño-Iracheta MA, Loredó-Osti C, Alcalá-Jáuregui J, Villar-Morales C (2010) Infectividad y efectividad de hongos micorrícicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). *Rev. Mex. Micol.* 31: 69-74.

Referenciado de: <http://revistamexicanademicologia.org/wp-content/uploads/2010/07/9.-TR-193-69-74.pdf>

Veiga RSL, Jansa J, Frossard E, Van der Heijden MGA (2011) Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce the growth of agricultural weeds? *PLoS ONE* 6: e27825. Referenciado de: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0027825>

Vierheilig H, Coughlan AP, Wyss U, Piché Y (1998) Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 5004-5007.

Zorer-Celebi S, Demir S, Celebi S, Demirel-Durak E, Hakki-Yilmaz I (2010) The effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) applications on the silage maize (*Zea mays* L.) yield in different irrigation regimes. *Eur. J. Soil Biol.* 46: 302-305. Referenciado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556310000531>