



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



*"Enseñar la explotación de la
tierra, no la del hombre"*

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**DENSIDADES DE SIEMBRA Y MICORRIZAS EN LA
PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE CHILE CRIOLLO DE
MORELOS**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCIÓN GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

GRACIA SANTOS ALEJANDRO

Chapingo, Méx. Junio del 2014



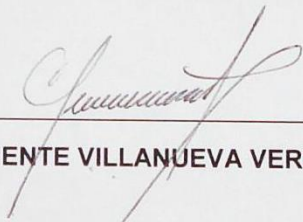
Instituto de Horticultura

**DENSIDADES DE SIEMBRA Y MICORRIZAS EN LA
PRODUCCIÓN HIDROPONICA DE CHILE CRIOLLO DE
MORELOS**

Tesis realizada por Alejandro Gracia Santos, bajo la dirección del comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



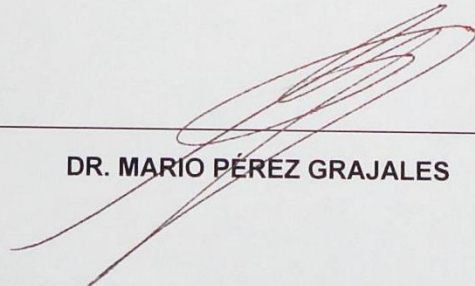
DR. CLEMENTE VILLANUEVA VERDUZCO

ASESOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DR. MARIO PÉREZ GRAJALES

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todo lo que me ha brindado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero para la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por su hospitalización y los servicios brindados que hicieron más amena mi estancia en este lugar.

Al instituto de Horticultura del departamento de Fitotecnia por brindarme las instalaciones y comodidades para la culminación de esta investigación.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco, por su guía, sugerencias y contribuciones en esta tesis.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos, por la atención brindada para la culminación de esta investigación.

Al Dr. Mario Pérez Grajales, por sus acertadas correcciones en la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Martínez Solís, por la atención dispuesta en la revisión y observaciones del presente trabajo.

Al personal de campo, Maximino, por el apoyo técnico en las labores de campo del cultivo estudiado.

Al personal laboral del área de posgrado, Ángeles, Monse, Rogelio, por el apoyo en los trámites necesarios para culminar esta etapa.

A mis amigos durante mi estancia en la Universidad, Víctor, Ezequiel, Héctor, Antonio, José Luis, por los momentos compartidos

A todos mis compañeros de grupo de la generación 2012-2013.

A todos los que de alguna manera contribuyeron en este trabajo.

DEDICATORIA

A QUIENE ME DIERON LA VIDA

Irais Santos Leandro

A MIS HERMANOS

Jazmín López Santos

Marcos Gracia Santos

DATOS BIOGRAFICOS DEL AUTOR

Alejandro Gracia Santos nació en la ciudad de Zacapoaxtla, Puebla el 28 de mayo de 1985. Es el segundo hijo de la Irais Santos Leandro, Madre soltera dedicada a la agricultura y comercio. Estudio la primaria en su localidad de origen, Xalacapan, Zacapoaxtla, Puebla. Los estudios de secundaria los realizó en un internado para varones en Zaragoza, Puebla. La educación media superior y superior la llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo Obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia en el Departamento de Fitotecnia en el 2009. En el 2010 se desempeñó como técnico facilitador del programa PESA (programa estratégico para la seguridad alimentaria) laborando en dos ADR's (agencia de desarrollo rural) en los estados de Oaxaca e Hidalgo. En el 2011 laboró en un centro impulsor de servicios tecnológicos para la red cebada, en Hidalgo con la colaboración del CIMMYT dando asesoría a productores bajo el sistema de labranza de conservación y siembra en surcos. También ha colaborado en investigaciones y redacciones, ayudando a profesores de la Universidad. En enero del 2012 ingreso al programa de Maestría en Ciencias en Horticultura del departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	II
RESUMEN GENERAL.....	4
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. DENSIDADES DE SIEMBRA Y CEPAS DE MICORRIZAS	7
2.1 RESUMEN	7
2.2 ABSTRACT	7
2.3 INTRODUCCIÓN.....	8
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
2.6 CONCLUSIONES	36
2.7 LITERATURA CITADA	37
3. DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOSIS DE MICORRIZAS	40
PLANTING DENSITIES AND MYCORRHIZAE DOSE.....	40
3.1 RESUMEN	40
3.2 ABSTRACT	40
3.3 INTRODUCCIÓN.....	41
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
3.6 CONCLUSIONES	63
3.7 LITERATURA CITADA	64
4. DISCUSIÓN GENERAL	67
5. CONCLUSIONES GENERALES	71
6. LITERATURA CITADA GENERAL	72

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

I. DENSIDADES DE SIEMBRA Y CEPAS DE MICORRIZAS

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Tratamientos del experimento de chile criollo de Morelos con cuatro tipos de inóculo y dos distancias de siembra en hidroponía bajo invernadero.....	17
2	Comparaciones de medias de los niveles de los factores micorrizas y distancia entre plantas en chile criollo de Morelos..	20
3	Cuadrados medios del análisis de varianza para siete caracteres de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	24
4	Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para siete caracteres de chile criollo de Morelos.....	39
5	Correlaciones entre las variables evaluadas en el cultivo de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		pág.
1	Número de frutos por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	31
2	Peso de frutos (g) por corte realizado en chile criollo de	

Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	33
---	----

II. DOSIS DE MICORRIZAS Y DENSIDADES DE SIEMBRA

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		pág
1	Diseño de los tratamientos de chile criollo de Morelos con tres dosis de micorrizas y dos distancias de siembra en hidroponía bajo invernadero.....	49
2	Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza para seis caracteres evaluados en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	51
3	Comparaciones múltiples de medias para seis caracteres evaluados en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	55
4	Comparaciones de medias de los niveles de los factores micorrizas y distancia entre plantas en chile criollo de Morelos	56
5	Correlaciones entre las variables evaluadas en el cultivo de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Número de frutos por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	60
2	Peso de frutos (g) por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.....	62

DENSIDADES DE SIEMBRA Y MICORRIZAS EN LA PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE CHILE CRIOLLO DE MORELOS

PLANTING DENSITIES AND MYCORRHIZAE IN THE HYDROPONIC PRODUCTION OF NATIVE CHILI OF MORELOS

A. Gracia-Santos¹ y C. Villanueva-Verduzco²

RESUMEN GENERAL

Con el objetivo de aumentar la productividad de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero se llevaron a cabo dos experimentos simultáneamente. Los experimentos se llevaron a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo en condiciones de invernadero en 2012. En el primero se evaluó el efecto de cuatro cepas de micorrizas (PCC[®] Hortic Plus[®], PHC[®] Colonize[®], PCC[®] Hortic Plus[®] + PHC[®] Colonize[®], y testigo) bajo dos distancias de siembra (40 y 60 cm). La cepa PHC-H fue la que mejores resultados mostró, al tener un rendimiento (RHA) de 25.646 t·ha⁻¹ en la distancia entre plantas de 40 cm. Se obtuvieron efectos del factor micorriza en rendimiento cuando se aplicaron solas respecto a cuándo se aplicó la mezcla o no se aplicaron. La distancia entre plantas de 40 cm aumentó significativamente el rendimiento respecto a la distancia entre plantas de 60 cm al producir 21.960 t·ha⁻¹ vs 15.786 t·ha⁻¹. En el segundo experimento se evaluó el efecto de tres dosis de micorrizas (1, 2 y 3 g) del producto comercial PHC[®] Colonize[®] bajo dos distancias de siembra (40 y 60 cm). Hubo efectos de tratamientos para rendimiento por hectárea destacando la dosis de 2 g a una distancia entre plantas de 40 cm al tener 15.754 t·ha⁻¹. No se obtuvieron efectos del factor dosis de micorrizas. Respecto a las distancias de siembra, 40 cm entre plantas aumentaron significativamente el rendimiento al obtener 14.628 t·ha⁻¹ vs 11.181 t·ha⁻¹ en la distancia entre plantas de 60 cm.

Palabras clave: *Capsicum annum* L., Inoculación, *Glomus* sp., cepas de micorriza, hongos micorrízicos, bacterias benéficas

GENERAL ABSTRACT

In order to increase hydroponically the productivity of the native chili of Morelos under greenhouse, two experiments were simultaneously conducted. The experiments were carried out under greenhouse conditions in 2012 at Chapingo Autonomous University. In the first the effect of four strains of mycorrhizae (PCC[®] Hortic Plus[®], PHC[®] Colonize[®], PCC[®] Hortic Plus[®] + PHC[®] Colonize[®] and control) under two planting distances (40 and 60 cm) were evaluated. The PHC-H strain showed the best results having a yield (RHA) of 25,646 t·ha⁻¹ at plant spacing of 40 cm. Factor mycorrhiza effects were obtained in yield when applied alone regarding whether the mixture was applied or not. The distance between plants of 40 cm significantly increased yield regarding the distance of plants of 60 cm when producing 21,960 t·ha⁻¹ vs. 15,786 t·ha⁻¹. In the second experiment the effect of three doses of mycorrhizae (1, 2 and 3 g) of commercial product PHC[®] Colonize[®] from two planting distances (40 and 60 cm) were evaluated. There were effects of treatments for yield per hectare (RHA) highlighting the dose of 2 g at a plant spacing of 40 cm to have 15,754 t·ha⁻¹. No dose effects of mycorrhizal factor were obtained. Regarding planting distance 40 cm between plants significantly increased the yield when obtaining 14,628 t·ha⁻¹ vs 11,181 t·ha⁻¹ in plant spacing of 60 cm.

Key words: *Capsicum annum* L., Inoculation, *Glomus* sp., mycorrhizal strains, mycorrhizal fungi, beneficial bacteria

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

***Capsicum annuum* L. en México**

Bolivia, Perú, México y Colombia son países considerados como el lugar de origen del género *Capsicum*, uno de los más importantes de la familia de las Solanaceae, que comprende cerca de 25 especies silvestres y cinco domesticadas, incluyendo todas las variedades de chile y pimiento. Las cinco especies domesticadas y cultivadas comercialmente son *Capsicum annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. pubescens* y *C. chinense* (IBPGR, 1983).

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por su gran consumo en la población (Namesny, 2006); en México, la superficie cosechada es de 143,975 hectáreas y un rendimiento promedio de 16.22 t·ha⁻¹ (SIAP, 2012).

El género *Capsicum* ha sido ampliamente estudiado, sobre todo en taxonomía, origen evolución y procesos de domesticación, pero aún faltan importantes aspectos por resolver ya que todos los estudios se han limitado a las especies cultivadas y a sus parientes más cercanos (Hernández-Verdugo *et al.*, 1998), la poca información que se tiene al respecto impide que se aproveche al máximo el potencial genético.

Micorrizas

La problemática de la fertilidad de suelos adquiere relevancia en la producción agrícola en general. El interés creciente por los biofertilizantes surge de la necesidad de desarrollar alternativas más limpias y menos costosas para suministrar nutrientes a las plantas. Los microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares constituyen vías alternativas para la nutrición de las plantas, al incrementar su crecimiento y desarrollo y con efectos positivos sobre los rendimientos de los cultivos. La práctica de aplicar micorrizas es factible en los cultivos donde es habitual una fase de semillero, dado los efectos de estos hongos como biofertilizantes y bioprotectores, además con su utilización se puede lograr una reducción significativa en el uso de los fertilizantes minerales. Los microorganismos del suelo desempeñan un papel importante en el contexto agrícola, debido a su decisiva contribución en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres. Estos permiten no solo la recuperación de suelos dañados, sino también la sustitución parcial o total de los fertilizantes minerales, además de su bajo costo de producción y la posibilidad de fabricarse a partir de recursos locales renovables.

Las ventajas proporcionadas por la micorrización para las plantas son numerosas. Gracias a ella, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y

agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada.

Existen reportes del efecto positivo de la micorriza arbuscular en conjunto con materia orgánica aplicada como composta o simplemente como estiércol o residuos de cosecha, en el desarrollo de las plantas (Saif, 1986; Sieverding, 1991).

Densidades de siembra

Una manera de controlar la cantidad de luz y obtener mayor rendimiento de frutos por unidad de área, es el manejo de la densidad del cultivo (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997). Con esta estrategia se busca establecer un Índice de Área Foliar (IAF) óptimo en el menor tiempo posible y lograr mantenerlo para maximizar la intercepción de radiación fotosintéticamente activa, lo que aumenta la posibilidad de mayores rendimientos (Sánchez *et al.*, 1999).

En los trabajos efectuados sobre densidades, en varios de ellos se concluye que el rendimiento aumenta por área hasta cierto límite, aunque a nivel de planta disminuye (Cebula, 1995; Khasmakhi-Sabet *et al.*, 2009). Densidades de 4 a 15 plantas m⁻² en pimiento, han aumentado el rendimiento, aunque densidades mayores no han conseguido incrementos (Agarwal *et al.*, 2007; Cruz *et al.*, 2009).

Dean Batal y Doyle Smittle (1981, Universidad de Georgia) compararon 28,125, 41,675 y 62,500 plantas de pimiento por hectárea. El mayor aumento de rendimiento sucedió cuando se aumentaron las densidades de plantación a 41,675 plantas por hectárea, pero los rendimientos se disminuyeron cuando se aumentaron las densidades de plantas a 62,500 por hectárea.

Pete Stoffella y Herb Bryan (1988, Universidad de Florida) compararon densidades de 22,500 a 267,500 plantas de pimientos Bell por hectárea sembradas mecánicamente. Se compararon varios espaciados de hileras entre 13 y 51 cm. Cuanto más se incrementaba la densidad de plantas, generalmente la proporción de brotes: raíces disminuía. Esto sugiere que la disminución en el peso de los brotes fue mayor que la disminución en el peso de las raíces. En las poblaciones más densas de plantas, quizá se requiera un mayor sistema de raíces por masa de brotes para mejorar la absorción de agua y nutrientes puesto que la competencia de raíces entre las plantas es mayor. El número y peso de los pimientos generalmente disminuyó por planta y aumentó por hectárea a medida que aumentó la densidad de plantas

La densidad de siembra es importante en el chile, por ser una planta de crecimiento dicotómico con cuajado de frutos en los puntos de ramificación, donde la competencia por nutrientes suele causar un desbalance entre el crecimiento de la parte vegetativa y la reproductiva (Vitoria *et al.*, 2001), con lo cual se ejerce un efecto negativo sobre el desarrollo y el rendimiento de las plantas; sin embargo, esa competencia puede ser manipulada por cambios en la densidad de plantas

(Russo, 2003). De allí, que algunas experiencias revelen que la densidad de plantas por unidad de área fue un factor importante, el cual, es responsable de un adecuado crecimiento y rendimiento de las plantas (Vitoria *et al.*, 2001; Russo, 2003; García *et al.*, 2006).

En evaluaciones anteriores de material del Instituto Sinchi, Méndez *et al.* (2003) observaron que el aborto de frutos se encuentra influenciado por la alta densidad de siembra, generando una alta competencia por los nutrientes y luz entre plantas y por fotoasimilados por parte de los frutos. También se ha encontrado que las distancias de siembra desempeñan un papel determinante en la intercepción de radiación solar por el cultivo para convertir esta energía en biomasa, sin dejar de lado otros factores importantes, como el cultivar elegido y sus características de crecimiento, al igual que las características climáticas del lugar donde se va a desarrollar el cultivo (Carrillo *et al.*, 2003).

Las plantas de chile (*C. annuum* L.) requieren para su desarrollo gran cantidad de luz, calor, humedad y sobre todo minerales (Maroto, 1989). En el caso de su nutrición, es posible utilizar alternativas y suplementos a los fertilizantes químicos. Una de estas es la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, los cuales llegan a colonizar en alto grado a esta especie (Waterer y Coltman, 1989; Villalobos, 1993) logrando incrementar su desarrollo vía mayor absorción de nutrimentos, como el P (Marschner y Dell, 1994).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la productividad de chile criollo tipo Morelos en hidroponía bajo invernadero con la aplicación de diferentes tipos de micorrizas, dosis de micorrizas y densidades de siembra a través de la realización de dos experimentos.

2. DENSIDADES DE SIEMBRA Y CEPAS DE MICORRIZAS

PLANTING DENSITIES AND STRAINS MYCORRHIZAE

2.1 RESUMEN

Se evaluó el efecto de cuatro cepas de micorrizas y dos distancias de siembra en chile criollo de Morelos (*Capsicum annum* L.). El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo en condiciones de invernadero en junio del 2012. La cepa PHC-H fue la que mejores resultados mostró, al tener un rendimiento por hectárea de 25.646 t·ha⁻¹, en la distancia entre plantas de 40 cm, superando en un 26 % al testigo bajo la misma distancia de siembra. Se obtuvieron efectos del factor micorriza en rendimiento cuando se aplicaron solas respecto a cuándo se aplicó la mezcla o no se aplicaron obteniendo 21.719 t·ha⁻¹ con la cepa PHC-H y 20.033 t·ha⁻¹ con la cepa PHC-C. La distancia entre plantas de 40 cm aumentó significativamente el rendimiento respecto a la distancia entre plantas de 60 cm al producir 21.960 t·ha⁻¹ vs 15.786 t·ha⁻¹.

PALABRAS CLAVE: *Capsicum annum* L., Inoculación, *Glomus* sp., cepas de micorriza, hongos micorrízicos

2.2 ABSTRACT

The effect of four strains of mycorrhizae and two population densities in the native chili of Morelos (*Capsicum annum* L.) was evaluated. The experiment under greenhouse conditions was conducted in June 2012 at Chapingo Autonomous University. The strains PHC-H showed the best results having a yield (RHA) of 25,646 t·ha⁻¹ in the distance between plants of 40 cm, exceeding 26 % to control under the same distance between plants. Effects from factor mycorrhizal were obtained in yield when applied alone regarding on when the mixture was applied or not obtaining 21.719 t·ha⁻¹ with the strain PHC-H and 20.033 t·ha⁻¹ with the strain PHC-C. The distance between plants of 40 cm significantly increased yield regarding the distance of 60 cm between plants to produce 21,960 t·ha⁻¹ vs 15,786 t·ha⁻¹.

KEY WORDS: *Capsicum annum* L, Inoculation, *Glomus* sp., mycorrhizal strains, mycorrhizal fungi.

2.3 INTRODUCCIÓN

La labranza y todas aquellas actividades que manipulan los primeros centímetros del suelo cultivable, producen la ruptura y disgregación del micelio externo de las micorrizas vesículo arbusculares (MVA). Debido a que este micelio contribuye sustancialmente en la formación de la estructura del suelo, su destrucción trae consecuencias indeseables para la infiltración y demás propiedades físicas del suelo (Miller y Jastrow, 2000).

La micorriza arbuscular, asociación benéfica de la mayoría de las plantas superiores descritas (>85 %), con hongos del orden de los Glomales, tiene influencia favorable en la aclimatación, establecimiento y crecimiento de las plantas (Shah, 2011).

Factores que afectan el desarrollo, actividad y supervivencia de la micorríza arbuscular

Diversos factores pueden afectar el desarrollo, actividad y supervivencia de la micorriza arbuscular. Dentro de los más importantes, se encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y rotaciones de cultivos, de igual forma los factores medioambientales son determinantes (Gianianazzi, 1994).

Las prácticas agrícolas, tales como la aplicación de fertilizantes, la rotación de cultivos, la labranza y abono con cal afectan los niveles de la colonización de las raíces y el potencial de MA en campo. Por ejemplo, se ha encontrado que los altos niveles de la fertilización con fósforo bajan o inhiben la eficiencia de la micorriza en cultivos de soya (Ezawa *et al.*, 2000). Igualmente, los cambios en la fertilidad del suelo, debido a correcciones con fertilizantes minerales o materia orgánica, pueden afectar marcadamente la actividad de la población micorrízica del suelo, en términos de la cantidad de raíz colonizada y el número de esporas producidas (Hayman, 1987).

La fertilización química aplicada puede disminuirse de un 50 a 80 %, ya que la MA mejora la absorción de nutrimentos del suelo. Del 40 al 50 % de los fertilizantes químicos aplicados se lixivian, contaminando suelos, ríos, arroyos, mantos freáticos y la atmósfera (Plenchette *et al.*, 1983; Harrison, 1997).

Especificidad hongo-planta: En términos generales, existe una falta de especificidad, considerada en el sentido estricto del término, entre especies de hongos VA y plantas superiores. Teóricamente, cualquier hongo VA puede infectar a cualquier planta susceptible; sin embargo, sí que existen grandes diferencias entre los distintos endofitos tanto en la morfología de la infección y el grado de micorrización que producen, como en la efectividad de la MVA formada en una planta determinada.

Uso agrícola de Micorrizas

Hernádi y Sasvári (2012) evaluaron la aplicación en campo de una mezcla de inóculo comercial de *Glomus* spp. en pimiento (*Capsicum annuum* L. var . *longum*) , cv . Szegedi. El inoculante AMF fue capaz de establecerse en la rizosfera de plantas de pimiento y la inoculación micorrízica aumentó la producción de pimiento en más de un 65 % en comparación con las plantas no tratadas. Teniendo relativamente alta colonización en el control, el tratamiento no inoculado indicó una alta presencia de poblaciones autóctonas de AMF en el suelo del campo. Aunque la inoculación afectó la estructura de la comunidad de huéspedes de hongos AM, no tuvo influencia significativa sobre la composición de los HMA asociado con raíces de pimiento.

Montero *et al.* (2010) en un trabajo titulado “Efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del suelo” evaluaron la aplicación de los hongos micorrízicos arbusculares. Desde el comienzo de la floración-fructificación, cuando el 20 % de las plantas tenían flores, se establecieron dos variantes de riego, que consistía en aplicar el agua cuando la humedad del sustrato se redujo a 65 y 90 % de la capacidad del recipiente (Cc). Las inoculaciones con cepas *Glomus* Hoy-like y *Glomus mosseae* aumentaron el rendimiento de peso de los frutos de pimiento, en comparación con el control no inoculado, entre 12 y 24 % en el tratamiento de menor contenido de humedad (65 % Cc), mientras que entre 10 y 20 % en la otra de mayor suministro de agua (90 % Cc),

% Cc) del sustrato. Un mayor rendimiento se obtuvo por *Glomus mosseae* a diferentes niveles de humedad del sustrato.

Sheng *et al* (2012) en su trabajo titulado “Inoculación con Hongos micorrízicos arbusculares y el cultivo intercalado con Pimiento puede mejorar la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos de sandía en un sistema dañado por Monocultivo. Los cuatro tratamientos fueron: monocultivo de sandía con y sin inoculación de hongos AM y cultivo intercalado sandía/pimiento con y sin inoculación del hongo AM. Aunque los efectos no fueron estadísticamente significativos, números de bacterias y actinomicetos tendieron a aumentar y el número de hongos tienden a disminuir con el intercalado e inoculación del hongo AM. En general, los resultados indican que el cultivo de sandía intercalado con pimiento y la inoculación con el hongo *G. versiforme* puede mejorar la calidad del suelo y el rendimiento de la planta en los sistemas previamente sometidos al monocultivo continuo de sandía.

Rueda *et al.* (2010) en su trabajo “Efectos de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y micorrizas en *Capsicum annum* L. var, aviculare germinando bajo condiciones de estrés abiótico”. Ecotipos de semillas se inocularon con una especie de PGPB y AMF . Dos pruebas de germinación se llevaron a cabo para estudiar el efecto de la salinidad, régimen de temperatura (noche / día) y la inoculación con PGPB y AMF midiendo factores de crecimiento en germinación (porcentaje y tasa), altura de planta, longitud de la raíz, y biomasa producida (fresca y materia seca). Los resultados indicaron que de cuatro de los ecotipos

estudiado, Mazocahui fue el más destacado de todos, mostrando la mayor germinación en condiciones salinas y no salinas. Sin embargo las PGPB y AMF influyeron en las otras variables evaluadas.

Castillo *et al.* (2009) en el trabajo “Efecto de los hongos micorrizicos arbusculares en un cultivo ecológico de chile pimienta (*Capsicum annum* L.) con el objetivo de comparar la eficacia de dos AMF, un inóculo de micorrizas comercial (IC, *Glomus intraradices*) y otro nativo (IN, *Glomus claroideum*) con un testigo sin inoculación (-I) sobre la producción y calidad de ají "Cacho de cabra". Con inoculación IN, fueron obtenidas plantas inoculadas con mayor área foliar y precocidad de la producción de fruta. La cosecha empezó 49 días más temprano y el peso fresco fue 177 % más alto que en el del control. La colonización de las raíces fue baja, mostrando diferencias significativas entre la cepa nativa y la comercial, mientras que un gran número de esporas se produjo en el sustrato. Se concluyó que la inoculación con hongos nativos disminuyó el estrés del trasplante acelerando la fase de maduración de las plantas y resulta en una mayor y mejor rendimiento de calidad.

Con base en lo anterior se planteó como objetivo aumentar el nivel de productividad hidropónica en invernadero de chile criollo de Morelos suplementada con composta y micorrizas en diferentes densidades de siembra.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se estableció en un invernadero con cubierta plástica del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 10 minutos del campus Universitario en Chapingo México y a 15 minutos de la Ciudad de Texcoco, Estado de México.

El terreno del invernadero se encuentra a 2,250 msnm y a 19° 29' de latitud N y 98° 53' longitud O. Presenta un clima templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9 C° con heladas poco frecuentes y una precipitación pluvial media anual de 686 mm. Los vientos dominantes provienen del sur. La presente investigación se llevó al cabo, del 2 de junio al 20 de octubre del 2012. El ciclo de cultivo fue de 140 días a partir del trasplante.

Factores y niveles en estudio

Chile criollo tipo Morelos, un compuesto balanceado de 12 colectas sobresalientes por tipo y tamaño de fruto, se evaluó con cuatro niveles de micorriza y dos distancias de siembra

Las fichas técnicas de las micorrizas se describen a continuación:

PHC® Colonize® (PHC-C). Promotor de hongos micorrícicos vesículo arbusculares VAM. Es un inoculante microbiano soluble en agua. Contiene estimulantes como yucca, ácidos húmicos, algas marinas y bacterias benéficas que mejoran la

fertilidad del suelo. Análisis Garantizado de Ingredientes Mejoradores de suelo: Ácidos Húmicos (28 % por peso), Extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) (20.4 %), Extractos de levadura (5.5 %), Maltodextrina (19 %), Extractos de Yucca (*Yucca schidigera*) (2.3 %), Formononetina (2.2 %).

Contenido Microbiano: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans*. Todas en una cantidad de 16.5 millones unidades formadoras de colonias·g⁻¹.

PHC[®] Hortic Plus[®] (PHC-H). Inoculante de hongos endomicorrícicos para trasplantes PHC[®] Hortic Plus[®] es un inoculante formulado con esporas de cuatro cepas seleccionadas de hongos micorrícicos vesículo arbusculares (VAM). Las cepas de *Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*, seleccionadas por su resistencia a condiciones de sequía y concentraciones elevadas de fósforo y tienen como característica una alta infectividad y rápida colonización en un amplio rango de especies.

PHC[®] Hortic Plus[®] utiliza principalmente esporas puras y propágulos vegetativos, fragmentos de micelio o de raíces, utilizando como substrato extractos de *Yucca schidigera* y algas marinas (*Ascophyllum nodosum* 16 %) así como ácidos húmicos 22 % y aminoácidos que promueven el crecimiento de la raíz mejorando la infectividad del inóculo. Además, contiene elementos esenciales como Nitrógeno 3 %, fósforo 4 % y potasio 3 %, derivados de levaduras deshidratadas, harina de sangre y harina de hueso derivados de res y harina de pescado.

PHC[®] Hortic Plus[®] está formulado también con cepas de seis tipos de bacterias benéficas, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras del crecimiento radical: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillum azotofixans*, con una cantidad de 1.8×10^7 unidades formadoras de colonias de cada bacteria benéfica por kilogramo de producto.

Siembra y trasplante

La semilla del chile criollo Morelos se sembró en abril del 2012 en charolas de “unicel” (polipropileno) de 200 cavidades en turba como sustrato. Después se procedió a extraer la plántula para ser trasplantada en camas de 1.2 de ancho y pasillos de 50 cm, teniendo como sustrato tezontle, con acolchado plástico de color negro. La distancia entre surcos fue de 50 cm y entre plantas fue de 40 o 60 cm según el tratamiento. También se aplicó una dosis de $700 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$ de composta al momento del trasplante, en el sitio donde quedó establecida la planta. Esta dosis fue utilizada porque en estudios anteriores fue la que mejores resultados obtuvo (Shah, 2011).

Inoculación al trasplante

La aplicación al trasplante es el método más recomendado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos. Para inocularlos se extrajo la planta del almacigo y se inoculó cada cepa en una de las caras del cepellón. Para la aplicación de la mezcla de micorrizas, se hizo una mezcla de ambas micorrizas en proporciones iguales y se aplicaron 2 g de la mezcla. También se aplicó

hidrogel en una de las caras del cepellón, con el fin de mejorar la retención de humedad.

Diseño experimental y de tratamientos

El experimento se estableció en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial (4x2; cuatro tipos de inóculo x dos distancias entre plantas) con cuatro repeticiones; lo que resultó en ocho tratamientos y 32 unidades experimentales. Los tipos de inóculo se conformaron con una combinación de alguno de los dos productos comerciales inoculantes (PHC-C, PHC-H) por alguna de tres cantidades de producto (0, 1.0, 1.5) más 2 g de la mezcla proporcional en peso de ambos inoculantes comerciales (Cuadro 1). Cada unidad experimental se constituyó de 10 plantas, sembradas a doble hilera en las camas de cultivo. Para muestrear se utilizó toda la unidad experimental.

Se estudiaron cuatro niveles de micorrizas con diferentes productos comerciales: 0 g, 1 g, 1.5 g y 2 g, cada uno con diferentes productos comerciales y dos distancias de siembra: 40 y 60 cm entre plantas.

Se generaron de esta manera ocho tratamientos (Cuadro 1).

CUADRO 1. Tratamientos del experimento de chile criollo de Morelos con cuatro tipos de inóculo y dos distancias de siembra en hidroponía bajo invernadero.

Tratamiento	Tipo de inóculo	Distancia entre plantas (cm)
1	PHC-C ($1\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	60
2	PHC-C ($1\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	40
3	PHC-H ($1.5\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	60
4	PHC-H ($1.5\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	40
5	PHC-H+PHC-C($2\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	60
6	PHC-H+PHC-C ($2\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$)	40
7	Sin inóculo (0 g).	60
8	Sin inóculo (0 g).	40

Se empleó el paquete SAS (Statistical Analysis Software) para obtener el análisis de varianza, la comparación de medias de tratamientos con la prueba de de Tukey ($p\leq 0.05$) y el análisis de correlaciones.

Toma de datos

Se realizaron siete cortes tomando datos de las variables evaluadas. Las fechas de los cortes fueron: 2, 9, y 30 de agosto; 7, 13 y 29 de septiembre y 20 de octubre. Los días entre cada corte son: 0, 7, 21, 8, 6, 16 y 21 días, respectivamente, de acuerdo con los flujos de frutos listos para cosechar.

Variables en estudio

Días a floración (DF). Se registró cuando el 50 % de las plantas de cada unidad experimental empezó la floración.

Número de frutos por corte (NFC). Se contó el número total de frutos por unidad experimental por cada corte realizado.

Altura de planta (ALT). Se midió en centímetros a los 84 días del trasplante. Se tomó de la base del tallo a la primera bifurcación. Se muestrearon cuatro plantas por unidad experimental para posteriormente obtener un promedio por cada unidad experimental.

Peso de frutos por corte (PF): Se pesó en gramos el total de frutos por unidad experimental por cada corte realizado.

Peso de frutos por parcela (PT). Se determinó en gramos el peso total por parcela a través de todos los cortes realizados.

Rendimiento por planta (RPP). El peso total de frutos por parcela se dividió entre 10, que fue el número de plantas.

Número total de frutos (NTF). Se sumó el número total de frutos de todos los cortes.

Rendimiento por hectárea (RHA). Se midió con base en el peso total por parcela de acuerdo al número de cortes realizados y se expresó en $t \cdot ha^{-1}$, considerando la distancia entre plantas, entre surcos y entre camas de cada unidad experimental.

Largo y ancho de frutos (LAR, ANC). Para esto se tomaron cinco frutos al azar por cada unidad experimental, se formaron alineados en los sentidos primero longitudinal y luego transversal y con cada medición se obtuvo un promedio por fruto, en centímetros, en cada corte.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

De acuerdo al análisis de varianza hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p \leq 0.01$) para peso total (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA) (Cuadro 2). También las hubo para tipos de inóculo para las variables peso total (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA), y para distancia entre plantas hubo diferencias significativas en las variables peso total (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA) (Cuadro 2). Con esto podemos decir que hubo al menos un tratamiento, un nivel de micorrizas y una densidad de siembra con valores estadísticamente superiores en las variables evaluadas. En las variables días a floración (DF), altura de planta (ALT), largo de fruto (LAR) y ancho de fruto (ANC) no hubo diferencias significativas entre tratamientos.

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para siete caracteres de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, Méx. 2012.

FV	GL	DF	ALT (cm)	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
Tra	7	1.24 ^{NS}	9.56 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.014 ^{NS}	4366194.0**	53759.2**	50.1**
Inoc	3	0.36 ^{NS}	5.95 ^{NS}	0.31 ^{NS}	0.02 ^{NS}	8256452.9**	45262.6**	46.7**
Dist	1	1.53 ^{NS}	19.92 ^{NS}	0.00 ^{NS}	0.00 ^{NS}	2732420.6*	71725.7**	304.9**
Inoc*dis	3	2.03 ^{NS}	9.71 ^{NS}	0.29 ^{NS}	0.00 ^{NS}	1020526.2 ^{NS}	56267.1**	5.0 ^{NS}
Blo	3	1.44	23.29	0.38	0.02	33781.6	1259.1	0.6
Error	21	0.68	9.48	0.39	0.01	614342.2	3475.1	3.2
Total	31	0.88	10.84	0.36	0.01	1405351.3	14615.1	17.1
CV		2.31	10.77	6.24	6.65	10.10	6.21	9.5

*: Significativo ($p \leq 0.05$), **: altamente significativo ($p \leq 0.01$), ^{NS}: no significativo, **DF**: días a floración, **ALT**: altura de planta, **LAR**: largo de fruto, **ANC**: ancho de fruto, **PT**: peso total, **NFT**: número de frutos total, **RHA**: rendimiento por hectárea, **CV**: coeficiente de variación.

Rendimiento y sus componentes

Los tratamientos que resultaron con los mayores rendimientos por hectárea fueron en los que se hicieron aplicaciones de micorrizas sin combinación, a una distancia entre plantas de 40 cm (Cuadro 3). Estos tratamientos son PHC-H (25.646 t·ha⁻¹) y PHC-C (22.269 t·ha⁻¹) no teniendo diferencias estadísticas entre ellos. Los tratamientos con los rendimientos unitarios más bajos fueron el testigo y la combinación de micorrizas (PHC-H+PHC-C), a una distancia entre plantas de 60 cm, con 13.100 y 14.456 t·ha⁻¹, respectivamente. La diferencia entre el tratamiento con los mayores valores en rendimiento y el tratamiento con los menores valores es de casi el 100 % (12.546 t·ha⁻¹).

Está establecido para el cultivo de tomate que, dentro de ciertos límites, al aumentar la densidad de población el rendimiento por unidad de superficie

aumenta debido a un mayor número de frutos por unidad de superficie; sin embargo, el rendimiento por planta disminuye como consecuencia de un menor número de frutos por planta y un menor peso y tamaño de éstos (Hurd *et al.*, 1979; Ho, 1984). En contraste, en el experimento se encontró para la mayoría de los tratamientos (seis) que hubo un menor NFT y PT en la distancia entre plantas de 40 cm, pero hubo un mayor rendimiento, por lo que se confirma la aseveración de estos autores (Cuadro 3).

En número de frutos total (NFT), los tratamientos que resultaron con los mayores valores fueron el 1 (PHC-C, 60 cm) y el 3 (PHC-H, 60 cm) siendo iguales estadísticamente, obteniendo valores de 1143 frutos para la cepa PHC-C y 1078 frutos para la cepa PHC-H, en 10 plantas (Cuadro 3).

Los tratamientos en los que se aplicaron inoculantes solos (PHC-C y PHC-H) a ambas distancias (40 y 60 cm), y en la combinación de micorrizas (PHC-C+PHC-H) a una distancia entre plantas de 60 cm, resultaron estadísticamente iguales, pero con los pesos de fruto más altos.

De los tratamientos con los mayores valores significativos para peso acumulado de fruto, el tratamiento 1 (PHC-C, 60 cm) tuvo el mayor valor numérico con 9,076 g por unidad experimental. Los tratamientos con los menores pesos de fruto fueron los testigos no inoculados y la mezcla de inoculantes a una distancia de siembra de 40 cm al tener un peso entre 6681 g y 6884 g (Cuadro 3). Este resultado es una consecuencia indirecta del número de frutos total (NFT), aunque no todos fueron afectados igualmente, debido a que el tamaño de frutos tuvo

variaciones en los tratamientos. Estos valores estuvieron afectados por la distancia de siembra y la dosis de micorrizas empleada, ya que los mayores valores se obtuvieron donde se hizo aplicación de micorrizas, comprobando de esta manera el papel de las micorrizas en la nutrición y productividad de las plantas. La interacción de micorrizas y bacterias influyó en el tratamiento 6 (2 g de PHC-C+PHC-H, 40 cm), al obtener los menores valores de PT. En un estudio cuando se co-inoculó con *Bacillus macerans* y el HMA, las plantas tuvieron la menor colonización micorrízica que con *Bacillus pumilus*; se especula que haya un efecto muy específico de compatibilidad de la bacteria con la planta que permitió que Bp tuviera el efecto de incrementar la permeabilidad celular de la raíz y favorecer la colonización de los HMA (Sumner, 1990).

Todos los tratamientos fueron iguales para días a floración (DF), altura de planta (ALT), largo (LAR) y ancho de fruto (ANC).

Las plantas en todos los tratamientos llegaron a florecer entre 35 y 36 días después del trasplante (Cuadro 3). Esto pudo deberse a que el papel de las micorrizas no tiene que ver con la precocidad de las plantas. Más bien las diferencias en la expresión floral en el cultivo pudieron ser controladas por factores genéticos, hormonales, ambientales, y la disponibilidad de nutrientes (Nayar y More, 1998).

Las plantas en todos los tratamientos, presentaron alturas de planta que variaron entre 27 y 31 cm (Cuadro 3). Jakobsen, 1992; Sanders y Tinker, (1973) establecen que el efecto más importante que producen las micorrizas arbusculares (MA) en

las plantas es un incremento en la absorción de nutrientes del suelo y agua que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas. La expansión del micelio externo del hongo por el suelo rizosférico es la causa principal de este efecto, permitiendo la captación de agua y nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces, por la propia absorción de la planta.

Al depender la altura de muchos factores, la acción de las micorrizas y distancias de siembra no modificaron esta variable.

Para largo de fruto no hubo diferencias significativas entre todos los tratamientos variando el largo de 9.4 a 10.2 cm. Para ancho de fruto tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos, teniendo valores de ancho de entre 1.6 y 1.8 cm. Estas dos variables pueden estar afectadas por el factor densidad de siembra (luz, nutrición, agua) y de alguna manera por las micorrizas, debido a la nutrición. Sin embargo en esta investigación no se afectaron estas variables, pudiendo atribuirse a la cantidad y homogeneidad de frutos en la planta. Otra causa de estos resultados, pudo deberse a la muestra de frutos que se utilizaron para tomar los datos, que fue de solo cinco frutos por unidad experimental.

Respecto a la densidad de siembra está establecido que una forma de incrementar la cantidad de fotoasimilados por planta es propiciar una mayor intercepción de luz por planta, mediante la reducción de la densidad de población. (Hurd *et al.*, 1979; Ho, 1984).

CUADRO 3. Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para siete caracteres de chile criollo de Morelos. Chapingo, Méx. 2012.

Inóculo	Trat dis	DF	ALT (cm)	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
PHCC	60	36 a ^z	28 a	10.2 a	1.7 a	9076 a	1143 a	17.797 dc
PHCC	40	35 a	30 a	9.8 a	1.8 a	7571 abc	859 dc	22.269 ab
PHCH	60	36 a	26 a	10.0 a	1.7 a	9074 a	1078 ab	17.793 dc
PHCH	40	35 a	31 a	10.0 a	1.7 a	8719 ab	970 bc	25.646 a
PHCC+PHCH	60	35 a	27 a	10.2 a	1.6 a	7372 abc	930 dc	14.456 de
PHCC+PHCH	40	35 a	27 a	10.1 a	1.6 a	6690 c	817 d	19.677 bc
Testigo	60	35 a	28 a	9.4 a	1.7 a	6681 c	833 dc	13.100 e
Testigo	40	36 a	28 a	9.9 a	1.7 a	6884 bc	958 bc	20.250 bc
DMS		1.9	7.3	1.4	0.2	1859	139	4.285

^z: Valores con la misma letra dentro de cada variable en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$; **DF**: días a floración, **ALT**: altura de planta, **LAR**: largo de fruto, **ANC**: ancho de fruto, **PT**: peso total, **NFT**: número de frutos total, **RHA**: rendimiento por hectárea, **DMS**: Diferencia mínima significativa.

Tipos de inóculo

Este factor tuvo efectos significativos entre tipos de micorrizas en las variables peso total de fruto (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA). Las micorrizas que se aplicaron solas, PHC-C a una dosis de 1 g y PHC-H a una dosis de 1.5 g fueron las que tuvieron efectos positivos en las variables PT, NFT y RHA, destacando numéricamente la cepa PHC-H con un PT de 8896 g, un NFT de 1024 y un RHA de 21.719 t·ha⁻¹. La combinación de micorrizas, PHC-H+PHC-C (2 g) y el testigo (0 g) fueron los menos favorables en estas tres variables, sus promedios de PT, 6782 g, NF, 895 y RHA, 16.674 t·ha⁻¹ para el testigo (Cuadro 4).

En la combinación de micorrizas PCC-C+PHC-H, no hubo respuesta favorable en las variables evaluadas posiblemente al efecto de compatibilidad entre microorganismos.

Según Bansal *et al.* (2000), también hay interacciones sinérgicas recíprocas entre los hongos micorrízico arbusculares y otros microorganismos del suelo. Los hongos formadores de micorrizas arbusculares, afectan a los microorganismos y éstos afectan al hongo. Estas interacciones pueden ser de dos tipos. 1) Sinérgicas; ya que se conoce que los hongos micorrízicos ayudan al crecimiento de varios grupos de bacterias como fijadoras de N, promotoras del crecimiento de plantas solubilizadoras de fósforo; también se conocen hongos saprofiticos que se desarrollan mejor en presencia de micorrizas. 2) Antagonistas; muchas interacciones negativas de las micorrizas suceden con hongos patógenos de plantas y nematodos, algunos de éstos pueden impedir el crecimiento de las micorrizas, pero las micorrizas también evitan que varios patógenos de las plantas puedan desarrollarse.

También el beneficio de los HVA depende las bacterias con las que estén asociados; no siempre tienen una relación sinérgica (Sumner, 1990).

También respecto al tipo de micorrizas está establecido que en términos generales, existe una falta de especificidad, considerada en el sentido estricto del término, entre especies de hongos VA y plantas superiores. Teóricamente, cualquier hongo VA puede infectar a cualquier planta susceptible; sin embargo, sí que existen grandes diferencias entre los distintos endofitos tanto en la morfología

de la infección y el grado de micorrización que producen, como en la efectividad de la MVA formada en una planta determinada.

La inoculación de las plantas con especies efectivas hongos micorrízicos arbusculares (HMA) provoca un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes, ya sea por intercepción, flujo de masas o difusión, lo cual influye positivamente en el incremento de la biomasa y los rendimientos de las plantas micorrizadas (Netto, 2008).

Los resultados de la presente investigación son consistentes en que la inoculación con micorrizas arbusculares (MA) en las plantas se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas. Se conoce que la expansión del micelio externo del hongo por el suelo rizosférico es la causa principal de este efecto, permitiendo la captación de agua y nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces, por la propia absorción de la planta (Sanders y Tinker, 1973; Jakobsen, 1992).

Factor distancia entre plantas

La prueba de comparación de medias mostró que hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos para las variables número de frutos total (NFT) y rendimiento de fruto por hectárea (RHA) y significativos para la variable peso total acumulado de fruto (PT) (Cuadro 4).

El número de frutos total (NFT) en la distancia de 60 cm entre plantas presentó valores más altos respecto a la distancia de 40 cm teniendo 996 frutos contra 901 frutos, respectivamente (Cuadro 4). El mayor NFT en la distancia de 60 cm, se podría explicar debido a que las plantas al tener más espacio entre ellas tienen menos competencia por factores como luz, nutrición y agua. Lo mismo ocurrió con el peso total acumulado de frutos (PT) que presentó los mayores valores (8,051 g); mientras que la distancia entre plantas de 40 cm tuvo un PT de 7,466 g.

En evaluaciones anteriores de material de *Capsicum* del Instituto Sinchi, Méndez *et al.* (2003) observaron que el aborto de frutos se encuentra influenciado por la alta densidad de siembra, generando una alta competencia por los nutrientes y luz entre plantas y por fotoasimilados por parte de los frutos. También se ha encontrado que las distancias de siembra desempeñan un papel determinante en la interceptación de radiación solar por el cultivo para convertir esta energía en biomasa, sin dejar de lado otros factores importantes, como el cultivar elegido y sus características de crecimiento, al igual que las características climáticas del lugar donde se va a desarrollar el cultivo (Carrillo *et al.*, 2003).

Al respecto Vásquez (2007) menciona que el aumento del número de plantas por metro, las vuelve más flexibles, con ramificaciones laterales de menor longitud, con menor número de ramas vegetativas y menos frutos comerciales por planta.

El rendimiento por hectárea (RHA) fue mayor con la menor distancia entre plantas (40 cm) con 21.960 t·ha⁻¹, 39 % más que con la distancia entre plantas de 60 cm (15.786 t·ha⁻¹). Como se puede observar se obtuvo un mayor RHA donde se tuvo

un menor PT de plantas (distancia entre plantas de 40 cm), esto se debió a que al comparar superficies, en la distancia entre plantas de 40 cm se tuvo una mayor producción por unidad de superficie, ya que para producir lo mismo que se produjo en la superficie con distancia entre plantas de 60 cm, requirió de menor superficie.

Respecto a la altura (ALT) no se observaron efectos al evaluar diferentes distancias de siembra, presentando numéricamente una mayor altura en la mayor distancia entre plantas (60 cm). Experiencias previas indican que la posibilidad de usar pequeñas distancias de siembra en plantas del género *Capsicum* es un poco limitada, ya que las altas densidades traen como respuesta un incremento en la altura (Decoteau y Hatt Graham, 1994). Generalmente, los incrementos en la altura de la planta, en respuesta al aumento en la densidad de población, son indicativos de una mayor competencia por luz entre plantas, debido a menor disponibilidad de radiación dentro del dosel (Castillo *et al.*, 1997).

Los cambios en altura también dependen de la variedad evaluada pudiéndose dar cambios o no en la altura de la planta al ser sometida a diferentes distancias de siembra (Carrillo *et al.*, 2003).

CUADRO 4. Comparaciones de medias de los niveles de los factores micorrizas y distancia entre plantas en chile criollo de Morelos. Chapingo, Méx. 2012.

FACTOR	DF	ALT (cm)	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
Tipos de inóculo							
PHCC (1 g)	36 a ^z	29 a	10.0 a	1.7 a	8324 a	1001 a	20.033 a
PHCH (1 g)	35 a	29 a	10.0 a	1.7 a	8896 a	1024 a	21.719 a
PHCH+PHCC (2 g)	35 a	27 a	10.2 a	1.6 a	7031 b	873 b	17.066 b
Testigo	35 a	28 a	9.7 a	1.7 a	6782 b	895 b	16.674 b
Distancia entre plantas (cm)							
60	36 a	27 a	10.0 a	1.7 a	8051 a	996 a	15.786 b
40	35 a	29 a	10.0 a	1.7 a	7466 b	901 b	21.960 a

^z: Valores con la misma letra dentro de cada variable en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$; **DF**: días a floración, **ALT**: altura de planta, **LAR**: largo de fruto, **ANC**: ancho de fruto, **PT**: peso total, **NFT**: número de frutos total, **RHA**: rendimiento por hectárea.

Análisis gráfico de la respuesta del cultivo

Número de frutos por corte (NFC)

La gráfica 1 muestra un aumento constante en la variable NF en todos los tratamientos, hasta el cuarto corte realizado; en el quinto y sexto corte el NF de frutos en algunos tratamientos continuó subiendo y en otros bajó respecto al cuarto corte y en el séptimo corte que fue el último, hubo nuevamente un aumento en el NF.

De manera general para los tratamientos, dividiendo la producción total entre en número total de cortes con base en porcentajes quedaría como sigue: primer corte se cosecho un 0.5 % de la producción total, segundo corte 1.3 %, tercer corte 9.3 %, cuarto corte 20 %, quinto corte 20.3 %, sexto corte 21 % y séptimo corte 27.3 %.

En el primer corte, el NF fue muy bajo, ya que la planta apenas estaba entrando en producción. En promedio para todos los tratamientos se cortaron 5 frutos por tratamiento para el primer corte. Al segundo corte hubo un aumento mínimo en el NF respecto al primer corte, un aumento en general de 2.5 veces respecto a lo que se obtuvo en el primer corte. Esto podría ser causado por el intervalo de tiempo entre estos dos cortes que fue solo de 7 días y porque la planta apenas estaba entrando en producción. En el tercer corte el aumento en el NF fue importante ya que se incrementó de manera general 7 veces respecto a lo que se obtuvo en el segundo corte. Una razón de esto es que la planta aún no llegaba a su máximo límite de producción y otra el intervalo de tiempo entre el segundo y tercer corte que fue de 21 días. Los tratamientos con el mayor NF fueron los testigos con 108 frutos cada uno y el tratamiento con el menor NF fue la mezcla PHC-C+PHC-H con 60 cm entre plantas al producir 69 frutos. Sin embargo esta tendencia no se siguió en los cortes consecutivos. En el cuarto corte hubo aumento en el NF de aproximadamente el doble respecto al corte anterior. Al quinto corte, la producción del corte anterior se mantuvo, habiendo un intervalo de días entre el corte anterior y este de 6 días.

Se observó que el cuarto y quinto son los más importantes ya que hubo una producción constante y un número de días entre cortes corto (6 y 8 días respectivamente).

Al sexto corte, de manera general, la producción se mantuvo constante respecto a los dos cortes anteriores; sin embargo, el tiempo que transcurrió entre el quinto y

sexto corte fue de 16 días, por lo que para producir lo mismo tuvieron que pasar mayor número de días. De esta manera se observa que a partir de este corte la producción comenzaba a declinar; sin embargo, era importante.

Al séptimo corte, de manera general, nuevamente hubo un aumento en el NF respecto al corte anterior. Incluso aquí se alcanzaron los mayores valores de esta variable en la mayoría de los tratamientos. Sin embargo, su importancia disminuye por el tiempo transcurrido entre el sexto y séptimo corte que fue de 21 días.

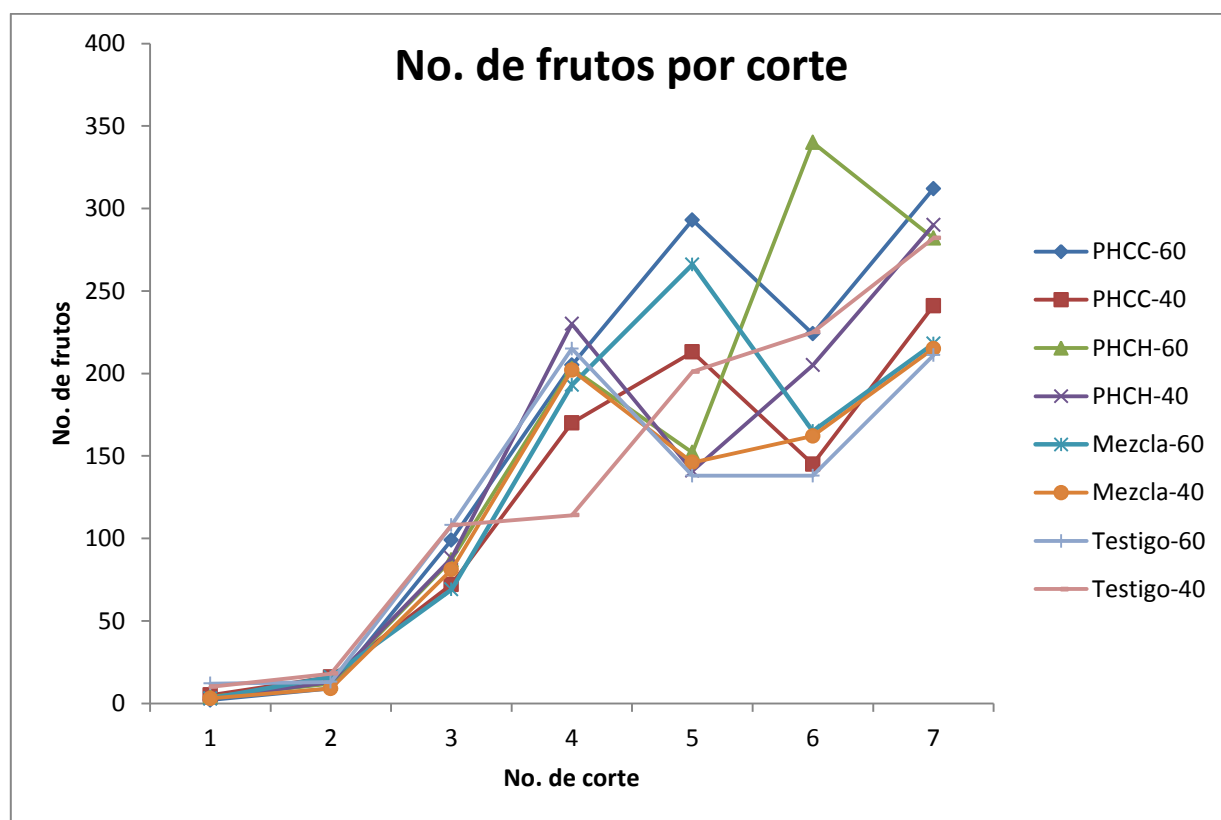


FIGURA 1. Número de frutos por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.

Peso de frutos por corte (g)

La tendencia a través de los cortes en peso de frutos por corte es parecida al NFC, esto es porque son variables dependientes (Figura 2). El grado en que dependen una variable de otra varía dependiendo de la etapa de producción, pero siempre mantienen valores relativamente proporcionales entre sí.

Al igual que en el número de frutos, el cuarto y quinto corte se consideran los más importantes en peso de fruto, debido a la cantidad producida y al intervalo de tiempo entre cada corte. En estos dos cortes se obtuvo un 40 % de la producción total, un 20 % en cada corte. Para realizar el cuarto corte se dejó un intervalo de 8 días respecto al corte anterior y para realizar el quinto corte se dejó un intervalo de 6 días respecto al corte anterior. A pesar de que en los cortes sucesivos se obtuvo una mayor producción respecto a la anterior, siendo del 21 % de la producción total en el sexto corte y del 27 % de la producción total en el séptimo corte su importancia disminuye debido a que el intervalo de días para realizar estos cortes fue mayor, de 16 y 21 días respectivamente.

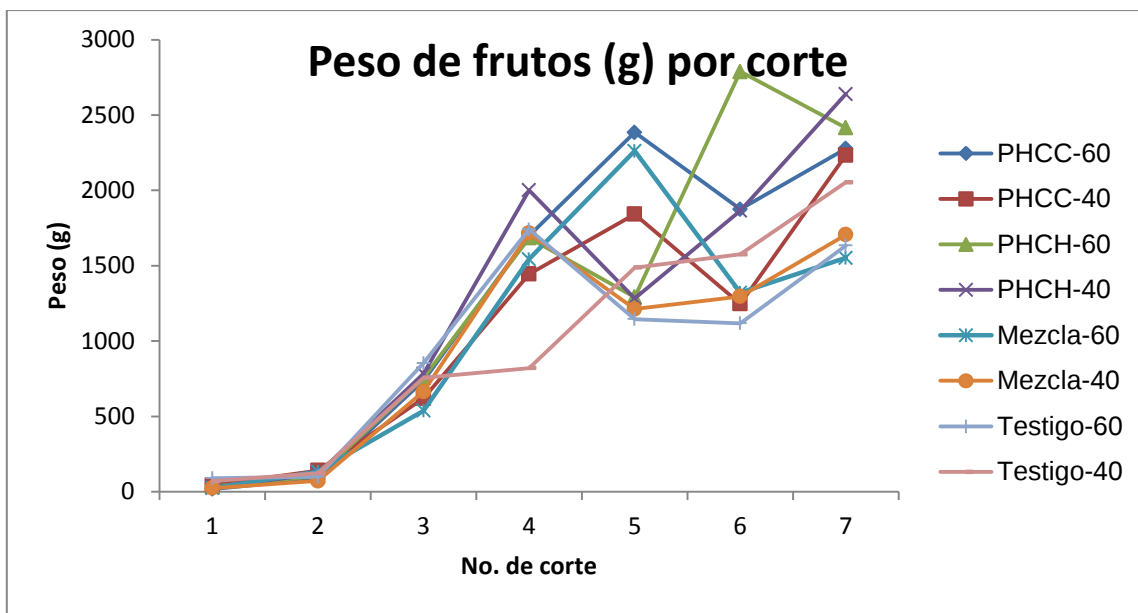


FIGURA 2. Peso de frutos (g) por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.

Correlaciones entre variables

De acuerdo al análisis de correlaciones, hubo correlación significativa entre todas las variables componentes del rendimiento peso total (PT), rendimiento por planta (RPP), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA), excepto las variables NFT y rendimiento por hectárea (RHA). La correlación que se dio fue directa (positiva) variando de 0.429 a 1 (Cuadro 5).

También hubo una correlación directa significativa (0.428*) entre una variable del componente del rendimiento (RHA) y una variable agronómica (ALT)

El rendimiento por hectárea RHA, mostró correlación directa (positiva), significativa y alta con altura de planta ($r=0.428^*$), con peso total ($r=0.429^*$) y con rendimiento por planta (RPP; $r=0.429^*$).

La variable número de frutos total NFT, presentó correlación directa, alta y significativa con peso total (PT; $r=0.832^{**}$) y con rendimiento por planta ($r=0.832^{**}$).

El rendimiento por planta lógicamente mostro una correlación directa perfecta y altamente significativa con la variable peso total (PT; $r=1.000^{**}$). La correlación RPP con PT, que fue perfecta, indica que al hacer combinaciones de los diferentes factores en estudio, los cambios en valores resultantes de una u otra variable fueron proporcionales de la misma manera. Esta correlación se dio porque los valores de la variable RPP son proporcionales a los de la variable PT

La correlación NFT con PT, quiere decir que en general la mayoría de los frutos tuvo un peso constante al depender del PT.

La correlación NFT con RPP es parecida a la anterior solo que aquí se compara con una unidad menor (planta).

En cuanto a la correlación RHA con PT, no se esperaría una correlación al tener diferentes densidades de siembra, sin embargo hubo correlación. Esto se explica porque en la mayor distancia de siembra hubo mayor peso y al dividirse este entre un mayor número para obtener RHA, el efecto compensatorio de peso, quedó en proporciones parecidas con respecto a la otra distancia de siembra.

Aunque hubo correlación entre RHA y ALT, ésta no se considera importante ya que tuvo un valor numérico bajo, además de que la variable ALT no presentó correlaciones significativas con alguna otra variable de rendimiento.

CUADRO 5. Correlaciones entre las variables evaluadas en el cultivo de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, 2012.

Variable	ALT (cm)	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	RPP (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
DF	0.080 ^{NS}	-0.103 ^{NS}	-0.255 ^{NS}	0.082 ^{NS}	0.082 ^{NS}	0.338 ^{NS}	-0.201 ^{NS}
ALT		-0.056 ^{NS}	-0.213 ^{NS}	0.244 ^{NS}	0.245 ^{NS}	0.066 ^{NS}	0.428*
LAR			-0.194 ^{NS}	0.173 ^{NS}	0.173 ^{NS}	0.226 ^{NS}	0.091 ^{NS}
ANC				0.076 ^{NS}	0.076 ^{NS}	0.055 ^{NS}	0.117 ^{NS}
PT					1.000**	0.833**	0.429*
RPP						0.832**	0.429*
NF							0.153 ^{NS}

DF: días a floración, **ALT:** altura de planta, **LAR:** Largo de fruto, **ANC:** ancho de fruto, **PT:** peso total, **RPP:** rendimiento por planta, **NFT:** número de frutos total, **RHA:** rendimiento por hectárea, *: significativo ($p \leq 0.05$), **: altamente significativo ($p \leq 0.01$), ^{NS}: no significativo .

2.6 CONCLUSIONES

El mejor tratamiento para rendimiento por hectárea (RHA; 4) de chile criollo Morelos fue el inóculo PHC-H (1.5 g por planta) a una distancia entre plantas de 40 cm, presentando diferencias con el testigo (0 g de inóculo y distancia entre plantas de 40 cm; 8), del 26 % (5.396 t) al tener 25.646 t·ha⁻¹ respecto a 20.250 t·ha⁻¹ del testigo.

El factor inóculo (micorriza) muestra efecto favorable en el rendimiento por hectárea de chile criollo del estado de Morelos, México al utilizar las cepas PHC-C (20.033 ton·ha⁻¹) y PHC-H (21.719 t·ha⁻¹).

La mejor distancia entre plantas, fue la de 40 cm superando estadísticamente en rendimiento (21.960 t·ha⁻¹) de fruto verde por hectárea a la de 60 cm (15.786 t·ha⁻¹), con un 40 % (6.174 t·ha⁻¹).

Se encontraron correlaciones altas, significativas y positivas entre las variables rendimiento por planta (RPP) con peso total (PT) ($r=1.000$), PT con número de frutos total (NFT) ($r=0.833$), PT con rendimiento por hectárea (RHA) ($r=0.429$), RPP con NFT ($r=0.832$) y RPP con RHA ($r=0.429$).

2.7 LITERATURA CITADA

- BANSAL, M.; CHAMOLA, B. P.; SARWAR, N.; MUKERJI, K. G. 2000. Mycorrhizosphere: interaction between rhizosphere microflora and VAM fungi. pp. 143-152. *In*: Mukerji, K. G.; Chamola, B. P.; Singh, J. (eds.). 2000. Mycorrhizal Biology. Kluwer Academic/Plenum Publishers. United States of America. 336 p.
- CARRILLO, J.C.; F. JIMÉNEZ; J. RUIZ; G. DÍAZ; P. SÁNCHEZ; C. PERALES Y A. ARELLANES. 2003. Evaluación de densidades de siembra en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Agron. Mesoam.* 14(1), 85-88.
- CASTILLO, C. G.; SOTOMAYOR, L.; ORTIZ, C.; LEONELLI, G.; BORIE, F.; RUBIO, R. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean J. Agric. Res.* 69(1), 79-87.
- CASTILLO, R.E.; P.J. ARCILA.; R.A. JARAMILLO Y J. SANABRIA. 1997. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con el área foliar de *Coffea arabica*. *Cenicafe* 48(3), 182-194.
- HERNÁDI, I.; SASVÁRI, Z.; ALBRECHTOVÁ, J.; VOSÁTKA M. AND POSTA, K. 2012. "Arbuscular Mycorrhizal Inoculants Increase Yield of Spice Pepper and Affects Indigenous Fungal Community in the Field," *HortScience*, Vol. 47, No. 5, pp. 603-606.

HO L C. 1984. Partitioning of assimilates in fruit tomato plants. *Plant Growth Reg.* 2:277-285.

HURD, R. G.; GAY, A. P.; MOUNTFIELD, A. C. 1979. The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Ann. Appl. Biol.* 93:77-89.

MÉNDEZ, M.A.; G.A. LIGARRETO; M.S. HERNÁNDEZ; L.M. MELGAREJO Y V. GONZÁLEZ. 2003. Evaluación agronómica de 4 accesiones de ají amazónico del banco de germoplasma ex situ del Instituto Sinchi. *Agron. Colomb.* 21(3), 165-174.

MILLER, R. M.; JASTROW J. D. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (Y Kapulnik y DD Douds Jr, eds), pp 3-18. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

MONTERO, L.; DUARTE, C.; CUN, R.; CABRERA, J. A.; GONZÁLEZ, P. J. 2010. Effectiveness of mycorrhizal biofertilizers on yield of pepper (*Capsicum annum* L. var. Verano 1) grown in different soil moisture conditions. *Cultivos Tropicales.* 31(3), 11-14.

NAYAR, N.M.; T.A. MORE. 1998. *Cucurbits*. 340 p. Science Publishers, Inc., Enfield, New Hampshire, USA.

NETTO, D. V. Apuntes de clase-Facultad de Agronomía-U.B.A.: Biología, -Las plantas y los minerales. Disponible en:

<[http://www.fisicanet.com.ar/biología/fisiologia/ap01_absorción_de_mineral](http://www.fisicanet.com.ar/biología/fisiologia/ap01_absorción_de_mineral_es.php)
es.php.2008>.

RUEDA, P. E.; MURILLO, A. M.; CASTELLANOS, C. T.; GARCÍA, H. J.L.;
TARAZÓN, H. M.A.; MORENO, M. S.; GERLACH, B. L.E. 2010. Effects of
plant growth promoting bacteria and mycorrhizal on *Capsicum annuum* L.
var. *aviculare* ([Dierbach] D'Arcy and Eshbaugh) germination under
stressing abiotic conditions. *Plant Physiol Biochem.* 48(8): 724-30.

SHAH, G. H. 2011. Hongos endomicorrízicos combinados con composta en
calabacita hidropónica en invernadero. Tesis de maestría. Departamento de
Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México.
61 p.

SHENG, P. P.; LIU, R. J.; LI, M. 2012. Inoculation with an Arbuscular Mycorrhizal
Fungus and Intercropping with Pepper Can Improve Soil Quality and
Watermelon Crop Performance in a System Previously Managed by
Monoculture.

SUMNER, M.E. 1990. Crop responses to *Azospirillum* inoculation. *Adv. Soil Sci.*
12: 53-123.

3. DENSIDADES DE SIEMBRA Y DOSIS DE MICORRIZAS

PLANTING DENSITIES AND MYCORRHIZAE DOSE

3.1 RESUMEN

Ante los problemas ambientales, económicos y de productividad que ocasionan los nutrientes minerales surge de la necesidad de desarrollar alternativas como el uso de biofertilizantes. Con el fin de aumentar el rendimiento hidropónico de chile criollo Morelos se evaluó el efecto de tres dosis de micorrizas del producto comercial PHC[®] Colonize[®] y dos distancias de siembra. El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo en condiciones de invernadero en abril a octubre del 2012. Hubo efectos de tratamientos para rendimiento por hectárea destacando la dosis de 2 g a una distancia entre plantas de 40 cm al tener 15.754 t·ha⁻¹. No se obtuvieron efectos del factor dosis de micorrizas en alguna de las variables evaluadas. Respecto a las distancias de siembra, 40 cm entre plantas aumentaron significativamente el rendimiento al obtener 14.628 t·ha⁻¹ vs 11.181 t·ha⁻¹ en la distancia entre plantas de 60 m.

PALABRAS CLAVE: *Capsicum annuum* L., Inoculación, hongos micorriícos, bacterias benéficas.

3.2 ABSTRACT

Facing the environmental, economic and productivity problems caused by mineral nutrients the need to develop alternatives such as the use of biofertilizers. In order to increase the hydroponic yield of native chili of Morelos, three doses effect of mycorrhizae three doses of mycorrhizae of commercial product PHC[®] Colonize[®] and two distances of planting was evaluated. The experiment was conducted in June 2012 at Chapingo Autonomous University. There were effects of treatments for yield per hectare (RHA) highlighting the dose of 2 g at a plant spacing of 40 cm to be 15,754 t·ha⁻¹. No dose effects of mycorrhizal factor in any of the evaluated variables were obtained. Regarding planting distance, 40 cm between plants significantly increased the yield to obtain 14,628 t·ha⁻¹ vs. 11,181 t·ha⁻¹ in plant spacing of 60 cm.

Key words: *Capsicum annuum* L., Inoculation, mycorrhizal fungi, beneficial bacteria.

3.3 INTRODUCCIÓN

La importancia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para la producción agrícola ha sido ampliamente reconocida y fundamentada (Sánchez *et al.*, 2009). Los microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares constituyen vías alternativas para la nutrición de las plantas, al incrementar su crecimiento y desarrollo y con efectos positivos sobre los rendimientos de los cultivos (Terry *et al.*, 2006).

La relación simbiótica originada por la colonización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de las plantas, promueve un mayor crecimiento y nutrición mineral de las mismas (Allen, 2001), así como la tolerancia a patógenos del suelo (Graham, 2001) y a condiciones abióticas adversas, como sequía (Kaya, 2003) y salinidad (Alkaki, 200). Por el interés en alcanzar el equilibrio ecológico la micorrización representa una práctica que debe ser incorporada dentro de los sistemas de la agricultura sostenible (Ferrera y Alarcón, 2004).

Respecto a la dosis micorrizas, esta es importante ya que dosis altas o bajas pueden tener pocos o ningún efecto, llegando incluso a ser inhibitorios.

Micorrizas

Endomicorrizas: Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y

arbúsculos. Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículoarbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta (Read, 1999).

Diversidad Taxonómica de los hongos micorrizógenos arbusculares

Los estudios con HMA se han enfocado principalmente en determinar la respuesta de la planta a la micorriza sin considerar detenidamente al endofito, dando la impresión de que estos hongos son funcionalmente equivalentes (Abbot & Robson 1991,), ya que incluso una morfoespecie puede asociarse con un gran número de plantas. Sin embargo, se ha demostrado que estos hongos tienen una gran diversidad fisiológica y probablemente han desarrollado adaptaciones específicas a las condiciones ambientales y edáficas en las que se desarrollan. Se ha observado que las plantas micorrizadas se benefician en diferente magnitud dependiendo de los HMA que las colonicen (Smith *et al.*, 2000).

Aplicación de las micorrizas vesículo-asculates (MVA) en la agricultura

La labranza, aplicación excesiva de fertilizantes químicos y aplicación prolongada de estos conlleva a la pérdida de la diversidad de hongos micorrízicos presentes en el suelo. La aplicación de fungicidas y de plaguicidas con fines fitosanitarios tiene efectos en las MVA, los cuales no son fácilmente predecibles debido a la complejidad de interacciones que se establecen en la comunidad de organismos del suelo (Sieverding, 1991).

La mayoría de las plantas de interés agronómico como el cacao, café, coco, algodón, cebolla, ajo, yuca, papa, todos los cítricos, todas las leguminosas y gran parte de los cereales forman MVA. Sin embargo, no todas estas especies, dependen de la misma manera de las MVA para su crecimiento. Aquellos cultivos con raíces gruesas y pocos pelos radicales, como por ejemplo el ajo, la cebolla, las leguminosas y los cítricos, tienden a ser muy dependientes de las micorrizas y la disminución en la productividad de dichos cultivos puede deberse a un manejo inadecuado de los insumos que se aplican, los cuales pueden conducir a la muerte o desaparición de los propágulos de MVA.

Por lo tanto el uso de estos microorganismos edáficos (MVA) en la agricultura constituye una alternativa promisorio frente a los fertilizantes minerales. Desde el punto de vista ecológico, la utilización y/o aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preservan la biodiversidad y se contribuye con una producción más estable y sostenida a largo plazo en equilibrio con el entorno (Hernández, 2000).

En este sentido, la reintroducción y el mantenimiento de las MVA asociadas a los cultivos agrícolas luce como un objetivo deseable con el fin de mejorar su rendimiento y productividad.

Utilización y efectividad de las micorrizas vesículo - arbusculares.

La utilización de las micorrizas como biofertilizantes no implica que se pueda dejar de fertilizar, sino que la fertilización se hace más eficiente y puede disminuirse la dosis a aplicar desde comúnmente 50 - 80 % y en ocasiones hasta un 100 %. Se plantea que de las cantidades de fertilizantes aplicadas, sólo se aprovecha un 20 %, y el resto normalmente se filtra o se lixivia sin remedio; con la aplicación de las micorrizas, puede ser recuperado por las plantas un porcentaje mucho mayor; ya que un pelo radical, puede poner a disposición de una raicilla, los nutrientes y el agua que se encuentra hasta 2 mm de la epidermis, las hifas del micelio extramático de las MVA pueden hacerlo hasta 80 mm, lo que representa para la misma raicilla la posibilidad de explorar un volumen de suelo hasta 40 veces mayor (Pérez *et al.*, 2000).

El beneficio reportado por el uso de las asociaciones micorrízicas vesículoarbusculares en el crecimiento de las plantas resulta espectacular, particularmente en suelos tropicales, deficientes en fósforo (P) asimilable y en donde el potencial de explotación de éstas es mucho mayor que en regiones de clima templado (Fredeen *et al.*, 1989; Sieverding, 1991).

Las investigaciones encaminadas a determinar la efectividad de inocular cepas de hongos MVA en las diferentes especies vegetales son muy promisorias para el desarrollo de una agricultura moderna, la cual necesita métodos que conduzcan a obtener producciones mayores o al menos sostenibles teniendo en cuenta todos los componentes del agroecosistema. Numerosos son los estudios que a lo largo

de los años, han utilizado los diferentes géneros de Glomales, destacándose el género *Glomus* por su eficiencia micorrizógena, su plasticidad ecológica y la tolerancia a las prácticas agrícolas, aún bajo condiciones adversas.

Con base a lo anterior se propuso como objetivo aumentar el nivel de producción hidropónica de chile criollo tipo Morelos suplementada con composta y dosis de micorrizas en dos densidades de siembra.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en un invernadero de cubierta plástica del campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México a 19°29'27" LN y 98°52'23" LO, a una altitud de 2,240 m, con una precipitación total anual de 686 mm y una temperatura media anual de 16°C. La investigación se llevó al cabo del abril a octubre del 2012 al 20 de octubre de este mismo año.

Factores y niveles en estudio

Chile criollo tipo Morelos, un compuesto balanceado de 12 colectas sobresalientes por tipo y tamaño de fruto, se evaluó con tres dosis de micorrizas del producto comercial PHC[®] Colonize[®] (PHC-C) y dos distancias de siembra.

Siembra y trasplante

La siembra se llevó a cabo en charolas de unicel de 200 cavidades, empleando como sustrato turba comercial. La siembra se realizó en abril del 2012 y el trasplante 35 días después de la siembra. El trasplante se hizo en camas de 1.2 m de ancho, bajo acolchado plástico y en tezontle como sustrato. Al momento del trasplante se aplicaron 700 g de composta en el sitio de la raíz de la planta con el fin de mejorar el establecimiento de las micorrizas.

Inoculación

La aplicación al trasplante es el método más recomendado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos. Para realizar la inoculación, el cepellón de la planta estaba lo suficientemente húmedo para que las micorrizas quedaran impregnadas. Se aplicaron las micorrizas en los lados del cepellón aplicando 1 g en cada lado.

En una de las caras del cepellón se aplicó hidrogel, con el fin de mejorar la humedad en la raíz.

Diseño experimental y de tratamientos

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (3x2), teniendo tres dosis de micorrizas y dos distancias de siembra, y cuatro repeticiones. La unidad experimental se constituyó de una parcela con 10 plantas sembradas a doble hilera.

Al aplicar tres dosis de micorrizas: 1, 2, 3 g, en dos distancias de siembra: 40 y 60 cm entre plantas, se generaron seis tratamientos (Cuadro 1).

CUADRO 1. Diseño de los tratamientos de chile criollo Morelos con tres dosis de micorrizas y dos distancias de siembra en hidroponía bajo invernadero.

Tratamiento	Descripción	Distancia entre plantas (cm)
1	PHC-C (1g.planta ⁻¹)	60
2	PHC-C (1g.planta ⁻¹)	40
3	PHC-C (2 g.planta ⁻¹)	60
4	PHC-C (2 g.planta ⁻¹)	40
5	PHC-C (3g.planta ⁻¹)	60
6	PHC-C (3g.planta ⁻¹)	40

Se empleó el paquete SAS (Statistical Analysis Software) para obtener el análisis de varianza, la comparación de medias de tratamientos con la prueba de de Tukey ($p \leq 0.05$) y el análisis de correlaciones.

Cosecha

Se realizaron siete cortes, tomando datos de las variables evaluadas. Las fechas consecutivas de los cortes fueron: 2 de agosto, 9 de agosto, 30 de agosto, 7 de septiembre, 13 de septiembre, 29 de septiembre y 20 de octubre, por lo que el intervalo de días entre cada corte son 0, 7, 21, 8, 6, 16 y 21 días.

Variables en estudio

Días a floración (DF). Se registró cuando el 50 % de cada unidad experimental empezó la floración.

Número de frutos por corte (NFC). Se contó el número total de frutos por unidad experimental por cada corte realizado.

Peso de frutos por corte (PF): Se pesó en gramos el total de frutos por unidad experimental por cada corte realizado.

Peso total de frutos por parcela (PT). Se determinó en gramos el peso total por parcela a través de todos los cortes realizados.

Rendimiento por planta (RPP). El peso total de frutos por parcela se dividió entre 10, que fue el número de plantas.

Número de frutos total (NFT). Se sumó el número de frutos de todos los cortes realizados.

Rendimiento por hectárea (RHA). Se midió con base en el peso total por parcela de acuerdo al número de cortes realizados y se expresó en $t \cdot ha^{-1}$, considerando la distancia entre plantas, entre surcos y entre camas de cada unidad experimental.

Largo y ancho de frutos (LAR, ANC). Para esto se tomaron cinco frutos al azar por cada unidad experimental, se formaron alineados en los sentidos primero longitudinal y luego transversal y con cada medición se obtuvo un promedio por fruto, en centímetros, en cada corte.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

De acuerdo al análisis de varianza hubo diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre tratamientos para rendimiento por hectárea (RHA) y significativas ($p \leq 0.05$) para número de frutos total (NFT) y peso total (PT) (Cuadro 2). No hubo efectos en días a floración (DF), largo (LAR) y ancho (ANC) de fruto. En el factor distancia entre plantas hubo efectos significativos en largo de fruto (LAR), PT, NFT y altamente significativos en RHA. En el factor dosis no hubo efectos en las variables evaluadas. De esta manera podemos decir que hubo el menos un tratamiento y una distancia entre plantas que presentó valores superiores en algunas de las variables evaluadas (Cuadro 2).

CUADRO 2. Cuadrados medios (CM) del análisis de varianza para seis caracteres evaluados en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, Méx. 2012.

FV	GL	DF	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
Tratam	5	1.86 ^{NS}	1.20 ^{NS}	0.0086 ^{NS}	153258.9*	31602.8*	18.650**
Mic	2	0.79 ^{NS}	1.44 ^{NS}	0.0129 ^{NS}	683162.1 ^{NS}	27172.5 ^{NS}	2.98 ^{NS}
Dis	1	0.16 ^{NS}	3.08*	0.0016 ^{NS}	3188500.2*	59501.0*	71.27**
Mic*Dis	2	3.79 ^{NS}	0.02 ^{NS}	0.0079 ^{NS}	1554062.6 ^{NS}	22084.0 ^{NS}	8.00 ^{NS}
Blo	3	1.50	0.09	0.0277	697718.9	11168.8	2.84
Error	15	1.46	0.45	0.0151	519763.3	7471.1	3.29
Total	23	1.55	0.57	0.01	763154.66	13199.47	6.57
CV		3.28	6.65	8.01	13.50	11.94	14.05

*: Significativo ($p \leq 0.05$), **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$), ^{NS}: no significativo, DF: días a floración, LAR: Largo de fruto, ANC: Ancho de fruto, PT: peso total, NFT: número de frutos total, RHA: rendimiento por hectárea, CV: Coeficiente de variación.

Rendimiento y sus componentes

Calidad de fruto

Para rendimiento por hectárea (RHA), los tratamientos con los mayores valores pero iguales estadísticamente fueron en los que se aplicó una dosis de micorrizas de PHC-C de 1 g a ambas distancias de siembra (60 y 40 cm), obteniendo valores de $12.604 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $14.416 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, y en los que se aplicó una dosis de 2 y 3 g de PHC-C a una distancia entre plantas de 40 cm, con valores de $15.754 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $13.714 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 3).

Los tratamientos con los menores valores para RHA fueron en los que se aplicó una dosis de micorrizas de 2 y 3 g a una distancia entre plantas de 60 cm ($10.076 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $10.864 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente).

La diferencia entre el tratamiento que presentó el mayor y menor valor en RHA, que fue significativa, fue $5.678 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (56 %). El mejor tratamiento fue el 4 (2 g de PHC-C, 40 cm de distancia entre planta) respecto al tratamiento 3 (2 g de PHC-C, 60 cm).

En todas las dosis evaluadas, considerando distancia entre siembra, se obtuvieron los mismos efectos de las micorrizas, por lo que la dosis no es determinante para RHA. Los menores valores de RHA se obtuvieron en las distancias de siembra de 60 cm, por lo que los efectos en rendimiento son debido a la distancia de siembra.

Son muy complejos los factores que afectan la aplicación de micorrizas pudiendo afectar su desarrollo, actividad y supervivencia. Dentro de los más importantes, se

encuentran las prácticas culturales agrícolas, particularmente la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y rotaciones de cultivos, de igual forma los factores medioambientales son determinantes (Gianianazzi, 1994), por lo que cualquiera de ellos pudo afectar en los resultados de este experimento.

Para la variable número de frutos total (NFT), todos los tratamientos son iguales estadísticamente, excepto el 6 (3 g de PHC-C y distancia entre plantas de 40 cm) que fue el menos favorable. De los tratamientos iguales significativamente, fue mejor numéricamente el tratamiento 1 (1 g de micorrizas y distancia entre plantas de 60 cm) superando al tratamiento 6 en un 42 % (884 frutos vs 620 frutos en 10 plantas) (Cuadro 3).

Dentro de los factores del suelo que afectan la aplicación de micorrizas esta la fertilidad del suelo, siendo más eficiente en suelo pobres en P. Consideramos que la nutrición del cultivo afectó de alguna manera la respuesta de las micorrizas al no tener efectos en las variables evaluadas, ya que no se hicieron modificaciones en cuanto a fertilización.

Para la variable peso total (PT) todos los tratamientos fueron iguales, excepto el tratamiento 6 (dosis de 3 g y distancia entre plantas de 40 cm) siendo estadísticamente el menos favorable teniendo un valor de 4662 g vs 6428 del tratamiento 1 (PHC-C 1 g, 60 cm entre plantas) que fue el mejor. La diferencia entre ambos es del 28 % (Cuadro 3).

Estas variables estuvieron afectadas en parte por la distancia de siembra.

De acuerdo con Shah *et al.* (2011) la micorriza arbuscular tiene influencia favorable en la aclimatación, establecimiento y crecimiento de las plantas. Se observó que las dosis empleadas no afectaron el peso total (PT), más bien fueron afectadas por la distancia entre plantas.

Para la variable días a floración (DF) no se observaron diferencias significativas en todos los tratamientos, teniendo las plantas valores de 36 a 38 días a floración después del trasplante.

Para la variable largo de fruto (LAR), no hubo diferencias estadísticas significativas, teniendo valores que variaron de 9.4 a 11.0 cm. para los tratamientos. Para la variable ancho de fruto (ANC) de igual manera todos los tratamientos son semejantes entre sí, teniendo valores de entre 1.4 y 1.5 cm. Las micorrizas tienen influencia en la producción, pudiendo aumentar el rendimiento y calidad de frutos. Sin embargo, en este experimento no se obtuvieron esos resultados. En estas variables es muy difícil que se logren diferencias entre tratamientos debido a la cantidad de frutos que la planta produce y a la homogeneidad en el tamaño de éstos. Otra causa de estos resultados, pudo deberse a la muestra de frutos que se utilizaron para tomar los datos, que fue de solo cinco frutos por unidad experimental.

CUADRO 3. Comparaciones múltiples de medias para seis caracteres de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero, Chapingo, Méx. 2012.

Trat	Dosis (g)	Dist (cm)	DF	ANC (cm)	LAR (cm)	PT	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
1	1	60	36.5 a ^z	1.5 a	9.8 ab	6428 a	884 a	12.604 abc
2	1	40	37.0 a	1.5 a	10.5 ab	4901 ab	697 ab	14.416 ab
3	2	60	37.5 a	1.4 a	10.1 ab	5139 ab	686 ab	10.076 c
4	2	40	36 a	1.5 a	11.0 a	5356 ab	703 ab	15.754 a
5	3	60	36.5 a	1.5 a	9.4 b	5540 ab	749 ab	10.864 bc
6	3	40	38 a	1.5 a	10.0 ab	4662 b	620 b	13.714 abc
DMS			2.7	0.28	1.5	1656	198	4.167

^z: Valores con la misma letra dentro de cada variable en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$, **DF**: días a floración, **LAR**: largo de fruto, **ANC**: ancho de fruto, **PT**: peso total, **NFT**: número de frutos total **RHA**: rendimiento por hectárea, **DMS**: Diferencia mínima significativa.

Niveles del factor micorriza

Este factor no tuvo efectos significativos en alguna de las variables evaluadas (Cuadro 4). Para rendimiento por hectárea (RHA), conforme se aumenta la dosis, hay una disminución numérica en esta variable, posiblemente a efectos de altas dosis.

Matamoros (2013) al evaluar dosis de Mycoral[®] (0, 75 y 150 g·bolsa⁻¹) en dos variedades de café no encontró diferencias significativas $P > 0.05$ en las variables altura de planta, porcentaje de infección de micorrizas, esporas por gramo de suelo, longitud del tallo y longitud de la raíz concluyendo que las dosis elevadas no fueron diferentes del testigo y no se recomiendan dosis altas de Mycoral[®] en semillero para café.

CUADRO 4. Comparaciones de medias de los niveles de los factores micorrizas y distancia entre plantas en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, Méx. 2012

FACTOR	DF	LAR (cm)	ANC (cm)	PT (g)	NFT	RHA (t·ha ⁻¹)
Dosis de Micorrizas						
1 g	37 a ^z	10.1 a	1.6 a	5664 a	790 a	13.510 a
2 g	37 a	10.5 a	1.5 a	5247 a	695 a	12.915 a
3 g	37 a	9.7 a	1.6 a	5101 a	684 a	12.288 a
DMS	1.6	0.87	0.15	936	112	2.355
Distancia entre plantas						
60	37 a	9.8 b	1.5 a	5702 a	773 a	11.181 b
40	37 a	10.5 a	1.5 a	4973 b	673 b	14.628 a
DMS	1.05	0.58	0.10	627	75	1.578

^z: Valores con la misma letra dentro de cada variable en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$, , **DF**: días a floración , **LAR**: largo de fruto, **ANC**: ancho de fruto, **PT**: peso total, **NFT**: número de frutos total **RHA**: rendimiento por hectárea, **DMS**: Diferencia mínima significativa.

Niveles del factor distancia entre plantas

La prueba de comparación de medias muestra que hubo efectos significativos en las variables largo de fruto (LAR), peso total (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA) (Cuadro 4).

Para la variable LAR, la distancia entre plantas que presento los mayores valores fue la de 40 cm (10.5 cm). El largo de fruto en la distancia de 60 cm fue de 9.8 cm (Cuadro 4). Estos resultados pueden estar enmascarados debido a la muestra de frutos que se utilizaron para tomar los datos, que fue de solo cinco frutos por unidad experimental.

Para la variable PT, la distancia que presentó los mayores valores fue la de 60 cm (5702 g). En la distancia de 40 cm se obtuvieron 4973 g (Cuadro). Esto es, porque la planta tiene mayor cantidad de frutos y esto se correlaciona con el peso total.

En la variable NFT, la distancia que presento los mayores valores fue la de 60 cm (773 frutos en 10 plantas). La distancia entre plantas de 40 cm tuvo 673 frutos. Esto es porque la planta compite mejor por factores como luz, nutrición, agua, lo que le permite tener una producción más alta.

En RHA, la mejor distancia fue la de 40 cm ($14.628 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). En la distancia entre plantas de 60 cm se tuvo un rendimiento de $11.181 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Cuadro 4).

Como se puede observar en la distancia de 40 cm hay menor NF y menor PT. Sin embargo, al estar en una unidad de superficie menor y al igualar ambas distancias en cuanto a superficie, se observa que la distancia de 40 cm, alcanza y rebasa al tratamiento con distancia de 60 cm en los valores de RHA. La diferencia en los valores entre ambas distancias es de $3.477 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Está establecido para el cultivo de tomate que, dentro de ciertos límites, al aumentar la densidad de población el rendimiento por unidad de superficie aumenta debido a un mayor número de frutos por unidad de superficie; sin embargo, el rendimiento por planta disminuye como consecuencia de un menor número de frutos por planta y un menor peso y tamaño de éstos (Hurd *et al.*, 1979; Ho, 1984). Estos resultados coinciden con el experimento al encontrarse en la menor distancia entre plantas (40 cm) un menor PT y NFT, pero un mayor rendimiento respecto a la distancia entre planta de 40 cm.

Al respecto Lee *et al.* (2000) establece que una correcta y apropiada distribución de radiación solar, entre y dentro de los doseles, dará como resultado un trabajo más homogéneo del índice de área foliar (IAF), mejor aprovechamiento de la luz, aumento en la eficiencia fotosintética, menos respiración de mantenimiento y, por tanto, mayores rendimientos agronómicos. El incremento en la densidad de siembra es uno de los principales manejos que se hacen para mejorar la captura de radiación solar por los cultivos (Idinoba *et al.*, 2002).

Análisis gráfico de la respuesta del cultivo

Número de frutos por corte

Como se puede observar en la gráfica 1 hubo un incremento continuo en el número de frutos en los primeros cuatro cortes en todos los tratamientos. En el quinto corte, el número de frutos disminuyó en todos los tratamientos respecto al corte anterior. Al sexto corte hubo un aumento en el NF respecto al corte anterior en todos los tratamientos. Al séptimo corte hubo un aumento en el número de frutos siendo de manera general en este corte donde se alcanzó el máxima valor para esta variable en los tratamientos.

De manera general para los tratamientos, dividiendo en NF total entre en número total de cortes en base a porcentaje quedaría como sigue: primer corte se cosecho un 0.5 % del NF, segundo corte 1.4 %, tercer corte 12.7 %, cuarto corte 20.6 %, quinto corte 11 %, sexto corte 25.2 % y séptimo corte 28.3 %.

Al primer corte el NF fue muy poco, ya que la planta apenas estaba entrando en producción. Al segundo corte hubo un aumento mínimo de NF respecto al primer corte. Esto podría ser causado por el intervalo de tiempo entre estos dos cortes que fue solo de 7 días. Al tercer corte hubo un aumento importante en el NF respecto al segundo corte. Una razón de esto es porque la planta estaba entrando en producción y otra por el intervalo de tiempo entre el segundo y tercer corte que fue de 21 días. Al cuarto corte el aumento de NF respecto al tercero, fue parecido al que hubo al anterior, sin embargo el intervalo de tiempo entre el cuarto y tercer corte fue de solo 8 días. La razón de este aumento fue que la planta entro a su máximo nivel de producción. Al quinto corte hubo una disminución en el NF respecto al cuarto corte, obteniendo aproximadamente la mitad de lo que obtuvo en el cuarto corte. El intervalo de tiempo entre el quinto y cuarto corte fue de 6 días. La razón por la cual la planta tuvo menos producción fue por el poco intervalo de días. Al sexto corte hubo un aumento en el NF respecto al corte anterior en todos los tratamientos. El intervalo de días entre el quinto y sexto corte fue de 16 días. la razón de tal aumento fue el espaciado número de días para realizar el corte. Al séptimo corte hubo un aumento en el NF respecto al corte anterior en cinco de los seis tratamientos, esto se podría explicar por el número de días que se dejó para realizarlo, que fue de 21 días, por lo que el aumento en NF, no fue importante, considerando el número de días para realizarlo.

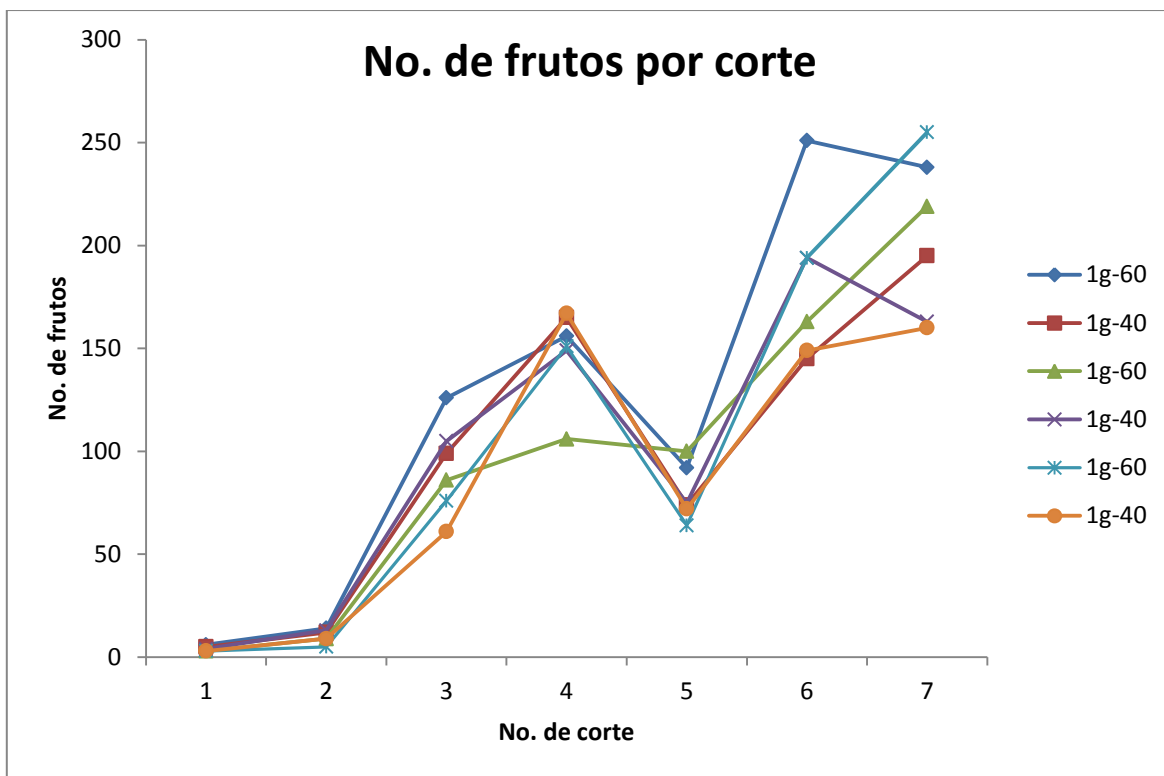


FIGURA 1. Número de frutos por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.

Peso por corte (g)

Como se puede observar, en la figura 2, la tendencia en el peso de frutos (PF) a través de los cortes es parecida a la anterior.

El aumento gradual al principio al igual que en la variable NF, se explica en que la planta está entrando en plena producción, siendo importante el cuarto corte debido a que se realizó solo 8 días después del tercer corte.

En el quinto corte hay una disminución en el peso de frutos, dejando pasar los mismos días para realizar el corte que los que se dejaron para realizar el corte

anterior. Esto es por el poco intervalo de días que se dejó para realizarlo y por el vigor de la planta. Al sexto corte hubo un aumento en el PF, este fue importante debido a que aquí se obtuvo la mayor producción, aunque el intervalo de días para realizarlo fue mayor (16 días). Esta producción se obtuvo debido a que los hábitos de crecimiento tanto anual como perenne le permiten seguir produciendo a la planta. Al séptimo corte la producción se mantuvo constante respecto al corte anterior, por lo que ya no se esperan aumentos en producción. El intervalo de días para realizarlo fue de 21.

De manera general para los tratamientos, dividiendo la producción total entre el número total de cortes en base a porcentaje quedaría como sigue: primer corte se cosecho un 0.6 % de la producción total, segundo corte 1.5 %, tercer corte 11.8 %, cuarto corte 17.1 %, quinto corte 10.7 %, sexto corte 29.5 y séptimo corte 28.4 %.

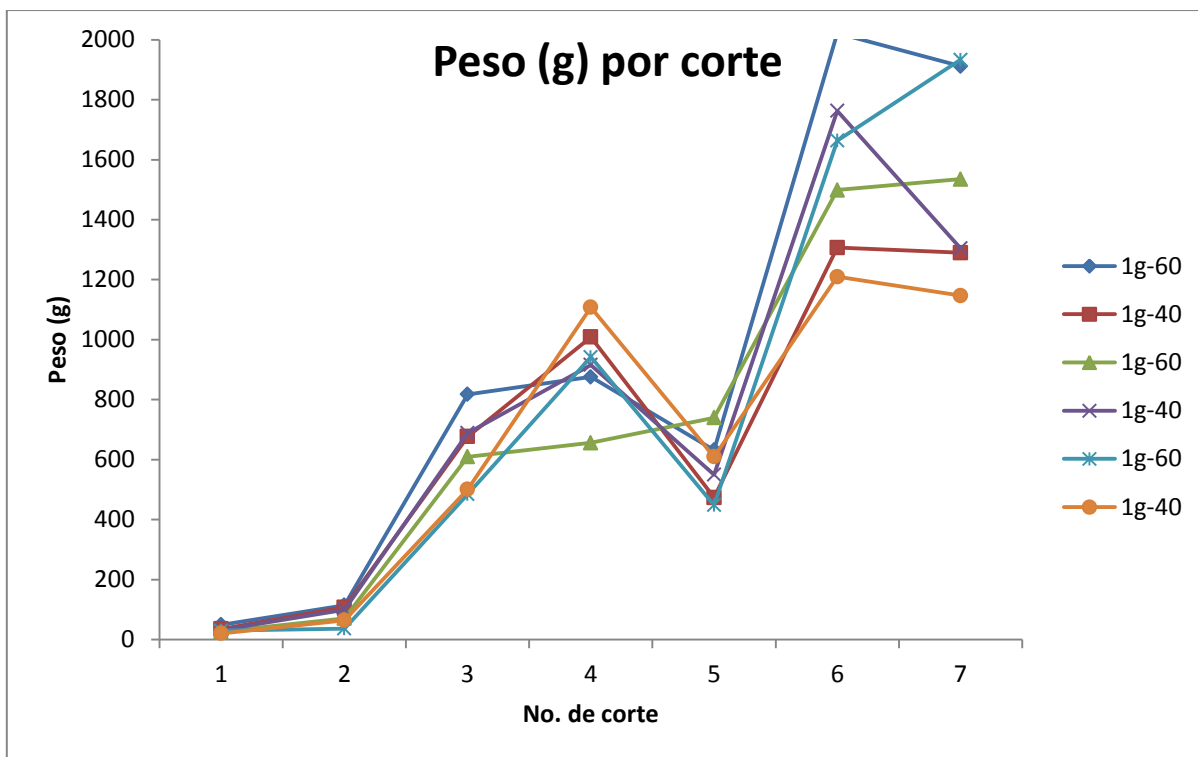


FIGURA 2. Peso total (g) por corte realizado en chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero.

Correlación entre variables

Entre las variables del componente del rendimiento, hubo correlación entre peso total (PT), rendimiento por planta (RPP) y número de frutos total (NFT). Estas correlaciones fueron directas (positivas) y altamente significativas ($p \leq 0.01$) (Cuadro 5).

La variable NF tuvo correlación con las variables PT y RPP con el mismo valor numérico ($r=0.9471$). La variable PT tuvo correlación con RPP ($r=1.0000$).

La correlación entre NFT y PT explica que aunque el peso de los frutos no es igual en cada tratamiento, un incremento en una u otra variable siempre se ve afectado por la otra por lo que el peso de los frutos tiende a ser constante. La correlación entre NFT y RPP es muy similar, ya que esta última variable es una proporción del PT.

Al no haber correlación entre PT y rendimiento por hectárea (RHA), explica que la distancia entre plantas y por ende la densidad de siembra, afecto su relación entre ellas, ya que un aumento en una u otra variable no afecta de una manera más o menos similar a la otra variable.

La correlación perfecta ($r=1.0000$) entre las variables RPP y PT se dio porque esta última es un incremento proporcional de la primer variable.

CUADRO 5. Correlaciones entre las variables evaluadas en el cultivo de chile criollo de Morelos en hidroponía bajo invernadero. Chapingo, 2012

VAR.	LAR	ANC	PT	RPP	NFT	RHA
DF	-0.0775 ^{NS}	0.1030 ^{NS}	-0.3389 ^{NS}	-0.3389 ^{NS}	-0.2556 ^{NS}	-0.2047 ^{NS}
LAR		-0.2581 ^{NS}	-0.0093 ^{NS}	-0.0093 ^{NS}	-0.0531 ^{NS}	0.5164 ^{**}
ANC			0.0958 ^{NS}	0.0959 ^{NS}	0.0074 ^{NS}	0.0742 ^{NS}
PT				1.0000 ^{**}	0.9471 ^{**}	0.3517 ^{NS}
RPP					0.9470 ^{**}	0.3517 ^{NS}
NF						0.2938 ^{NS}

DF: días a floración, LAR: Largo de fruto, ANC: ancho de fruto, PT: peso total, RPP: rendimiento por planta, NFT: número de frutos total, RHA: rendimiento por hectárea, **: altamente significativo $p \leq 0.01$, ^{NS}: no significativo.

3.6 CONCLUSIONES

Hubo efectos de tratamientos para rendimiento por hectárea (RHA) de chile criollo Morelos, siendo superiores los tratamientos 1, 2, 4 y 6 destacando el 4 (2 g de PHC-C por planta y distancia entre plantas de 40 cm), al obtener $15.754 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Respecto al factor dosis de micorrizas no se obtuvieron efectos significativos en ninguna de las variables evaluadas.

En el factor distancia entre plantas, espaciamientos de 40 cm fueron mejores estadísticamente respecto a los de 60 cm para RHA, al tener un rendimiento de $14.628 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ vs $11.181 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Se presentaron correlaciones positivas y altamente significativas entre las variables rendimiento por planta (RPP) y peso total (PT) ($r=1.000$), PT y número de frutos total (NFT) ($r=0.9471$) y entre NFT y RPP ($r=0.9470$).

3.7 LITERATURA CITADA

- ALLEN, B. L.; JOLLEY, V. D.; ROBBINS, C. W.; FREEBORNE, L. 2001. Fallow versus wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrhizal colonization, yield and plant nutrition of dry bean and sweet corn. *J. Plant Nutr.* 24: 921-943.
- ALKAKI, G. N. 200. Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*.10: 51-54.
- FERRERA C, R.; ALARCÓN, A. 2004. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. En: Memoria Simposio de Biofertilización (eds). Tampa, México : Río Bravo. pp. 1-9.
- FREDEEN, A. L. 1989. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in *Glycine max*. *Plant Physiol.* 89: 225-230.
- GIANINAZZI, S; SCH, U. 1994. Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems. *Birkhäuser Verlag*, Basel. 226 p.
- GRAHAM, J. H. 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas? *New Phytol.*149: 357-359.
- HERNÁNDEZ, M. I. 2000. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. [tesis de Maestría], INCA. La Habana. 86 p.

- HO, L. C. 1984. Partitioning of assimilates in fruit tomato plants. *Plant Growth Reg.* 2:277-285.
- HURD, R G; A P GAY; A C MOUNTFIELD. 1979. The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Ann. Appl. Biol.* 93:77-89.
- IDINOBA, M.E.; IDINOBA, P.A.; GBADEGESIN, A.S. 2002. Radiation interception and its efficiency for dry matter production in the three crop species in the transitional humid zone of Nigeria. *Agronomie* 22(7): 273-281.
- KAYA, C. D.; HIGGES, H. Y KIRNAK, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. *Plant and Soil.* 253: 287-292.
- MATAMOROS, M. J. E. 2013. Efecto de altas dosis de Mycoral en las variedades de café catimor 51/75 y caturra en siembra directa en bolsa. Proyecto especial de graduación. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 16 p.
- PÉREZ, M. E.; FERNANDEZ, A.; ANDINO, V.; GARCÍA, M.; PAREDES, E.; MUIÑO, B. L.; STEFANOVA, M.; PIEDRA, F.; HERNÁNDEZ, C.; RODRÍGUEZ, O.; MEDINA, C. M. 2000. Tecnología para la eliminación del bromuro de metilo. Semillero de tabaco con substrato orgánico y uso de

- medios biológicos. Instituto de investigaciones de Sanidad Vegetal. MINAGRI, La Habana. pp: 16-30.
- READ, D. J. 1999. Mycorrhiza. The estate of the art. En: Mycorrhiza 2nd. (A. Varma y B. Hock, eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. pp: 3.34.
- SÁNCHEZ, C.; CABALLERO, D.; CUPULL, R.; GONZÁLEZ, C.; URQUIAGA, S. Y RIVERA, R. 2009. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos cambisoles gléyicos. Cultivos Tropicales. 30 (1): 25-30.
- SHAH, G. H. 2011. Hongos endomicorrízicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero. Tesis de Maestría. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 61 p.
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Federal Republic of Germany. Eschborn. 372 p.
- SMITH, S. E.; JAKOBSEN I. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. New Phytologist 147: 357-366.
- TERRY, ELEIN, LEYVA, A. Y DÍAZ, MARIA M. 2006. Biofertilizantes y productos bioactivos, alternativas para la asociación maíz-tomate, en el período temprano de siembra. Cultivos Tropicales. 27(2): 5-11.

4. DISCUSIÓN GENERAL

Cepas de micorrizas

Respecto al tipo de micorrizas, la cepas PHC-H y PHC-C tuvieron el mayor peso total (PT), número de frutos total (NFT) y rendimiento por hectárea (RHA). La cepa PHC-H tuvo un PT de 8896 g, un NFT de 1024 en 10 plantas y un RHA de 21.719 t·ha⁻¹. La combinación de micorrizas no tuvo efectos siendo similar al testigo.

Respecto a la combinación de cepas de micorrizas, el nulo efecto se podría explicar por efectos de interacción. En un estudio cuando se co-inoculó con *Bacillus macerans* y el HMA, las plantas tuvieron la menor colonización micorrízica que con *Bacillus pumilus*; se especula que haya un efecto muy específico de compatibilidad de la bacteria con la planta que permitió que Bp tuviera el efecto de incrementar la permeabilidad celular de la raíz y favorecer la colonización de los HMA (Sumner, 1990).

En cuanto al efecto favorable de unas cepas de micorrizas se comprobó que la inoculación de las plantas con especies efectivas hongos micorrízicos arbusculares (HMA) provoca un marcado incremento en los procesos de absorción y traslocación de nutrientes, ya sea por intercepción, flujo de masas o difusión, lo cual influye positivamente en el incremento de la biomasa y los rendimientos de las plantas micorrizadas (Netto, 2008).

La inoculación con micorrizas arbusculares (MA) en las plantas se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plantas. Se conoce que la expansión del

micelio externo del hongo por el suelo rizosférico es la causa principal de este efecto, permitiendo la captación de agua y nutrientes más allá de la zona de agotamiento que se crea alrededor de las raíces, por la propia absorción de la planta (Sanders y Tinker, 1973; Jakobsen, 1992).

Respecto a la dosis de micorrizas no se obtuvieron efectos de este factor. Dosis altas o bajas pueden tener pocos o ningún efecto, llegando incluso a ser inhibitorios (Matamoros, 2013).

En cuanto a las diferencias en resultados en la variable RHA al evaluar tipos de micorrizas y dosis de micorrizas, teniendo en cuenta que en dos tratamientos se aplicó el mismo producto (PHC-C) a las misma dosis y a la misma distancia de siembra en ambos experimentos, consideramos que el manejo tiene que ver en los resultados, al estar a cargo los experimentos bajo diferente personal. Otros factores que pueden influir, es el micro-sitio de plantación, ya que si bien se espera que las condiciones medioambientales sean lo más homogéneas posibles al estar dentro del mismo invernadero, diversos factores pueden influir cuando se aplican micorrizas, como la fertilización anterior, la rotación de cultivos, aplicaciones de pesticidas, etc. Estos factores toman importancia cuando se tienen camas de cultivo y se manejan diferentes especies ciclo tras ciclo.

Distancia entre plantas

El número de frutos total (NFT) en la distancia de 60 cm entre plantas presento valores más altos respecto a la distancia de 40. El mayor NFT en la distancia de 60 cm, se podría explicar debido a que las plantas al tener más espacio entre ellas tienen menos competencia por factores como luz, nutrición y agua. Lo mismo ocurrió con el peso total acumulado de frutos (PT) que presentó los mayores valores en la distancia entre plantas de 60 cm.

En evaluaciones anteriores de material de *Capsicum* del Instituto Sinchi, Méndez *et al.* (2003) observaron que el aborto de frutos se encuentra influenciado por la alta densidad de siembra, generando una alta competencia por los nutrientes y luz entre plantas y por fotoasimilados por parte de los frutos. También se ha encontrado que las distancias de siembra desempeñan un papel determinante en la intercepción de radiación solar por el cultivo para convertir esta energía en biomasa, sin dejar de lado otros factores importantes, como el cultivar elegido y sus características de crecimiento, al igual que las características climáticas del lugar donde se va a desarrollar el cultivo (Carrillo *et al.*, 2003).

Al respecto Vásquez (2007) menciona que el aumento del número de plantas por metro, las vuelve más flexibles, con ramificaciones laterales de menor longitud, con menor número de ramas vegetativas y menos frutos comerciales por planta.

El rendimiento por hectárea (RHA) fue mayor con la menor distancia entre plantas (40 cm). Como se puede observar se obtuvo un mayor RHA donde se tuvo un menor PT de plantas (distancia entre plantas de 40 cm), esto se debió a que al

comparar superficies, en la distancia entre plantas de 40 cm se tuvo una mayor producción por unidad de superficie, ya que para producir lo mismo que se produjo en la superficie con distancia entre plantas de 60 cm, requirió de menor superficie.

Esta establecido que dentro de ciertos límites, al aumentar la densidad de población el rendimiento por unidad de superficie aumenta debido a un mayor número de frutos por unidad de superficie; sin embargo, el rendimiento por planta disminuye como consecuencia de un menor número de frutos por planta y un menor peso y tamaño de éstos (Hurd *et al.*, 1979; Ho, 1984).

5. CONCLUSIONES GENERALES

Al evaluar densidades de siembra y cepas de micorrizas, los tratamientos con los inóculos PHC-C y PHC-H, ambos a una distancia entre plantas de 40 cm (29,411 plantas·ha⁻¹) fueron estadísticamente superiores para rendimiento por hectárea (RHA) con valores de 25.646 t·ha⁻¹ y 22.269 t·ha⁻¹, respectivamente. El factor inóculo (micorriza) muestra efecto favorable en el rendimiento por hectárea de chile criollo del estado de Morelos, México al utilizar las cepas PHC-C (20.033 ton·ha⁻¹) y PHC-H (21.719 t·ha⁻¹). La mejor distancia entre plantas, fue la de 40 cm, superando estadísticamente en rendimiento (21.960 t·ha⁻¹ a 29,411 plantas·ha⁻¹) de fruto verde por hectárea a la de 60 cm (15.786 t·ha⁻¹ a 19,607 plantas·ha⁻¹), en un 40 % (6.174 t·ha⁻¹).

Al evaluar dosis de micorrizas y densidades de siembra, los tratamientos 1, 2, 4 y 6 fueron estadísticamente superiores para rendimiento por hectárea obteniendo valores de entre 12.604 ton·ha⁻¹-15.754 ton·ha⁻¹. En el factor dosis de micorrizas no se obtuvieron efectos significativos en ninguna de las variables evaluadas. En el factor distancia entre plantas, espaciamientos de 40 cm entre plantas (29,411 plantas·ha⁻¹) fueron mejores estadísticamente respecto a los de 60 cm (19,607 plantas·ha⁻¹) para RHA, al tener un rendimiento de 14.628 t·ha⁻¹ vs 11.181 t·ha⁻¹.

6. LITERATURA CITADA GENERAL

- AGARWAL, A.; GUPTA, S.; AHMED, Z. 2007. Influence of plant densities on productivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under greenhouse in high altitude cold desert of Ladakh. *Acta Horticulturae* 756: 309-314.
- CARRILLO, J.C.; F. JIMÉNEZ; J. RUIZ; G. DÍAZ; P. SÁNCHEZ; C. PERALES Y A. ARELLANES. 2003. Evaluación de densidades de siembra en Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Agron. Mesoam.* 14(1): 85-88.
- CASTILLO, C. G.; SOTOMAYOR, L.; ORTIZ, C.; LEONELLI, G.; BORIE, F.; RUBIO, R. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean J. Agric. Res.* 69(1): 79-87.
- CEBULA, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Horticulturae* 412: 321-329.
- CRUZ, H. N.; SÁNCHEZ, C. F.; ORTIZ, C. J.; MENDOZA, C. M. C. 2009. Altas densidades con despunte temprano en rendimiento y período de cosecha en Chile pimienta. *Agricultura Técnica en México* 35: 70-77.
- HERNÁNDEZ, V. S.; GUEVARA G. R. G.; RIVERA, B. R.F.; VÁZQUEZ, Y. C.; OYAMA, K. 1998. Los parientes silvestres del Chile (*Capsicum spp.*) como recursos genéticos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 171-181.

- IBPGR. 1983. Genetic resources of Capsicum. A global plan action. International Board of Plant Genetic Resources AGPG/ IBPGR/82/12. Roma. Italia. 49 p.
- KHASMAKHI, S. A.; SEDAGHATHOOR, S.; MOHAMMADY, J.; OLFATI, J. A. 2009. Effect of Plant Density on Bell Pepper Yield and Quality. International Journal of Vegetable Science 15: 264-271.
- MAROTO, B.J.V. 1989. Horticultura herbacea especial. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 702 p.
- MATAMOROS, M. J. E. 2013. Efecto de altas dosis de Mycoral en las variedades de café catimor 51/75 y caturra en siembra directa en bolsa. Proyecto especial de graduación. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honfuras.
- MÉNDEZ, M.A.; G.A.; HERNÁNDEZ, M.S.; MELGAREJO, L.M.; GONZÁLEZ, V. 2003. Evaluación agronómica de 4 accesiones de ají amazónico del banco de germoplasma ex situ del Instituto Sinchi. Agron. Colomb. 21(3): 165-174.
- MÉNDEZ, M.A.; LIGARRETO, G.A.; HERNÁNDEZ, M.S; MELGAREJO, L.M. 2004. Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de Ají (Capsicum sp.) cultivados en la Amazonía Colombiana. Agron. Colomb. 22(1): 7-17.
- NAMESNY A. 2006. Pimientos. Compendios de Horticultura 16. 2da Ed. De Horticultura, Barcelona, España. 167 p.

- PAPADOPOULOS, A.P.; PARARAJASINGHAM, S. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Horticulturae* 69: 1-29.
- SAIF, S.R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *Angew. Bot.* 60:125-139.
- SÁNCHEZ, C. F.; ORTIZ, C. J.; MENDOZA, C. C.; GONZÁLEZ, H. V. A.; COLINAS, Z. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). Producción agrícola por cultivo. Disponible en línea: <http://www.siap.gob.mx>. Consultado el 20 de Julio de 2012.
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Federal Republic of Germany. Eschborn. 371 p.
- WATERER, D.; COLTMAN, R. 1989. Mycorrhizal infection level of bell pepper transplants influences subsequent responses to soil solution phosphorus. *J. Plant Nutrition* 12: 327-340.