



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA EN INVERNADERO DE CHILE DE AGUA
(*Capsicum annum* L.) CON USO DE HONGOS ENDOMICORÍZICOS**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

THEDDY YERENA LÓPEZ UGARTE



CHAPINGO, MEXICO. DICIEMBRE DE 2013

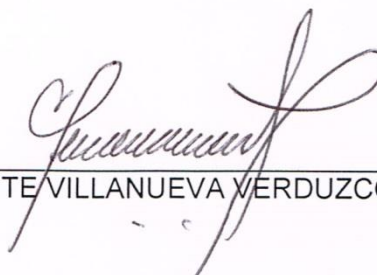
Instituto de Horticultura

**PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA EN INVERNADERO DE CHILE DE AGUA
(*Capsicum annum* L.) CON USO DE HONGOS ENDOMICORRÍZICOS**

Tesis realizada por **THEDDY YERENA LÓPEZ UGARTE**, bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

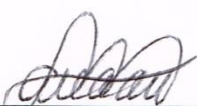
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. CLEMENTE VILLANUEVA VERDUZCO

ASESOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR



DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

Mi más sincero agradecimiento:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para poder obtener este grado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme un lugar entre tantos que lo solicitamos.

Para el Dr. Clemente Villanueva Verduzco por su apoyo en cada una de las etapas de este proyecto de investigación, mil gracias por su paciencia. Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos por ser parte de este proyecto y destinar parte de su tiempo en su revisión. Al Dr. Rogelio Castro Brindis por tener disponibilidad para aclarar cualquier duda y al Dr. Aureliano Peña Lomelí por disposición.

Al Dr. Juan Martínez Solís por todo el apoyo brindado.

Para llevar a cabo esta investigación tuve apoyo por parte del Sr. Maximino Ramírez, muchas gracias. A mis compañeros de la maestría: Erick, Cuauhtémoc, Missael, Nestor, Mario, Gaby, Gerdiel, y Lucas por todos los buenos ratos y muchos favores.

A mi compañero de vida, porque sin su apoyo no habría podido terminar esta etapa, muchas gracias.

Mi familia:

Para José de Jesús, Crescenciano y Rosa María. Gracias por todo su apoyo, amor y paciencia.

Para Julio César, Adriana, Joseph, Emmanuel e Issac... porque cuando nos vemos nos disfrutamos.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 HIPÓTESIS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Descripción morfológica del chile de agua	4
2.2 Hongos micorrízicos arbusculares.	5
2.3. Micorrizas.....	6
2.3.1 Endomicorriza	6
2.3.2 Estructura y función	6
2.3.3 Efectos fisiológicos de las asociaciones micorrízicas en chile	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1 Localización del experimento	10
3.2 Materiales	10
3.3 Diseño experimental	11
3.4 Variables a evaluar	12
3.5 Manejo del experimento	12
3.6 Determinación del porcentaje de colonización	15
3.7 Análisis estadístico.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1 Efecto de colectas de chile de agua.....	20
4.1.2. Efecto de las micorrizas	20
4.1.3. Efecto de interacción de colectas x micorrizas	20
4.1.4 Efecto de tratamientos (combinaciones de cepas y micorrizas)	22
4.2 Comparación de medias	24
4.2.1. Colectas de chile de agua.....	24
4.2.2. Micorrizas aplicadas	26
4.2.3 Tratamientos (combinaciones de colectas y micorrizas).....	27

4.3 Correlaciones entre variables	30
5. CONCLUSIONES.....	33
6. LITERATURA CITADA.....	34

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Dosis aplicadas por cepellon de hongos endomicorrizicos.....	11
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza factorial para cinco caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.	21
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza factorial para siete caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.	22
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza no factorial para siete caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012	23
Cuadro 5. Cuadrados medios para cinco caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.	23
Cuadro 6. Comparación de medias de niveles factorial para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012 ...	24
Cuadro 7. Comparación de medias de niveles factorial para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012 ...	25
Cuadro 8. Comparación de medias de combinaciones de cuatro colectas y micorrizas para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.....	28
Cuadro 9. Comparación de medias de las combinaciones de cuatro colectas y micorrizas para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.....	29
Cuadro 10. Correlaciones fenotípicas entre caracteres de chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plántulas de chile de agua (<i>Capsicum annuum</i> L) una semana antes del trasplante (8 de mayo del 2012).....	13
Figura 2. Aplicación de la fuente de micorrizas	14
Figura 3. Raíz en proceso de lavado.....	16

PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA EN INVERNADERO DE CHILE DE AGUA (*Capsicum annum* L.) CON USO DE HONGOS ENDOMICORRIZICOS

GREENHOUSE HYDROPONIC PRODUCTION OF “CHILE DE AGUA”(*Capsicum annum* L.) USING ENDOMYCORRHIZAL FUNGI

Resumen

El “chile de agua” (*Capsicum annum* L.) es un cultivo de importancia económica y cultural en el estado de Oaxaca, México. Las micorrizas arbusculares cumplen diversas funciones en las plantas; absorción de agua y nutrientes son de las más conocidas, así como la protección contra patógenos, en situaciones de estrés hídrico; promueven el crecimiento vegetativo. Estudios también reportan incrementos en rendimiento en algunas hortalizas. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la inoculación con hongos endomicorrízicos en combinación con composta y cuatro colectas sobre el desarrollo, rendimiento y calidad del fruto. El diseño experimental usado es un bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se inocularon plántulas de cuatro colectas de chile (Abasolo, Tlacoahuaya, Zimatlán y Sola de Vega) con Micofos®, Hortic Plus® y *Glomus mosseae* más un testigo por colecta. El tratamiento Zimatlán + *G. mosseae* produjo 15.5 t·ha⁻¹ de frutos de chile mientras que Zimatlán testigo menos productivo con 11.93 t·ha⁻¹. Abasolo + *G. mosseae* tiene los frutos más grandes (17.2 cm) de todos los tratamientos. La colecta Abasolo tuvo los frutos más grandes (16.6 cm) y con mayor peso (29.6 g) pero también la menor cantidad (15% menos). *Glomus mosseae* fue estadísticamente superior ($p \leq 0.01$) a las otras cepas para peso fruto (28.3 g) y rendimiento (15.3 t·ha⁻¹). El porcentaje de colonización no mostró correlación significativa ($p \leq 0.05$) con rendimiento, solo con altura de planta.

PALABRAS CLAVE.: micorrizas, chile de agua, hidroponia.

Abstract

“Chile de agua” (*Capsicum annum* L.) is an economically and culturally significant crop in the state of Oaxaca, México. Arbuscular mycorrhizae have diverse functions in plants; absorption of water and nutrients are the best known, but they also function in protection against pathogens and water stress as well as in promotion of vegetative growth. Also, studies on arbuscular mycorrhizae have reported increases in yield in other vegetables. The objective of this study was to determine the effect of inoculation with endomycorrhizal fungi in combination with compost on growth, yield and quality of chili fruits under greenhouse hydroponics. The experimental design was a randomized complete blocks with four replications. Chili fruits were collected from four locations (Abasolo, Tlacoahuaya, Zimatlán y Sola de Vega) and inoculated with Micofos®, Hortic Plus® and *Glomus mosseae* and a control per collection. The Zimatlán + *G. mosseae* had the highest yield (15.5 t·ha⁻¹) more than the Zimatlán control, which had the lowest yield of all (11.93 t·ha⁻¹). Abasolo + *G. mosseae* had the biggest chili fruits (17.2 cm) with all treatments. The collection from Zimatlán had the highest yield that all the collections. The collection from Abasolo had the lowest number of fruits per plant (15% least) but were of better weight (29.6 g). Yield (15.3 t·ha⁻¹) with *Glomus mosseae* was statistically higher ($p \leq 0.01$) than that with Micofos® or Hortic Plus® and fruit height (28.3 g). The percentage of colonization showed no significant correlation ($p \leq 0.05$) with yield, only plant height.

KEY WORDS: michorrryzae, “chile de agua,” hydroponics

1. INTRODUCCIÓN

En México el chile (*Capsicum annum* L) es uno de los productos regularmente consumidos en la alimentación por la población, al igual que maíz (*Zea mays*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*). Nuestro país es considerado como centro de domesticación del chile (*Capsicum annum* L.), especie domesticada por los mesoamericanos, lo que permitió la expansión de éste en sus diversas variedades. México es el segundo productor a nivel mundial, sólo después de China con 2,131,740 Mt (FAOSTAT,2011).

El chile de agua es un cultivo de reconocida importancia económica y cultural en el estado de Oaxaca. Es altamente demandado por los oaxaqueños aunque en los últimos años ya se está consumiendo en otros estados como Puebla, Distrito Federal, Guanajuato, Veracruz y Guerrero, entre otros.

En el 2010 se reportaron 450 ha cosechadas de chiles de agua. Su producción es del orden de 3500 t de chile en fresco; sin embargo, su establecimiento es reducido a los Valles Centrales de Oaxaca (OIEDRUS, 2010). El rendimiento por hectárea es de 6 a 8 t·ha⁻¹ y es considerado como bajo. El cultivo demanda alrededor de 228 jornales (López, 2002); se siembra en el ciclo de primavera-verano principalmente; su comercialización se lleva a cabo en los mercados locales. Principalmente en la central de abastos de la ciudad de Oaxaca. El precio unitario por fruto depende de la temporada y varía desde 50 centavos (mayo a agosto) hasta 3 y 4 pesos (Noviembre a Enero). Actualmente el cultivo empieza a ser producido bajo invernadero obteniendo mejores rendimientos que en campo

abierto y se pueden controlar factores decisivos como humedad y protección contra plagas y fitopatógenos.

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares es una práctica que ha tenido beneficios en la producción agrícola. La actividad simbiótica que presentan los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola (Kaya et al., 2003; Vosatka et al., 1999; Shama y Adholeya, 2000). Entre los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, están: promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta (Allen *et al.*, 2001; Khalil *et al.*, 1994;); tolerancia a patógenos del suelo (Khalil *et al.*, 1998; Graham *et al.*, 1994); y a condiciones abióticas adversas (Kaya et al., 2003; Copeman et al., 1996). Por lo tanto, la inoculación micorrízica representa una práctica que debe ser incorporada a los sistemas de producción (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2004). Aunque es abundante el conocimiento sobre los impactos de los HMA en hortalizas que se producen en campo abierto, aún quedan temas abiertos a la investigación con micorrizas en condiciones de invernadero y sustratos artificiales.

Debido a los bajos rendimientos del chile de agua y la escasa investigación de este cultivo es necesario llevar a cabo estudios que permitan cuantificar la relación simbiótica de hongos micorrízicos y el chile de agua.

1.1 OBJETIVOS

Determinar el efecto de la inoculación con hongos endomícrrizicos en combinación con composta sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de chile de agua en hidroponía en cuatro colectas en invernadero.

1.2 HIPÓTESIS

De tres fuentes diferentes de micorrizas aplicadas a cuatro colectas de chile de agua, al menos una coloniza eficientemente las raíces aumentando el rendimiento y calidad de chile de agua hidropónico.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción morfológica del chile de agua

El chile de agua es una planta herbácea anual, con ramificación dicotómica, altura promedio de 60 cm, raíz típica con un promedio de 27 cm y un gran número de raíces secundarias; tallo erecto, hojas alternas y ovaladas, con ápice acuminado, base atenuada, borde liso, pinnadamente nervadas y glabras en haz y envés. Las flores son axilares, solitarias, completas y perfectas. El peciolo mide 3 cm de largo, cáliz gamocépalo, formado por siete sépalos y es membranoso corto y resistente. Corola fusionada hacia la base, pétalos blancos en número de cinco y deciduos. El ápice está formado de lóbulos acutados y redondeados, epipétalos, hipogíneos y de seis estambres con filamentos cortos. Las anteras son dehiscentes, longitudinales y basificadas. El gineceo es súpero y el estilo corto. Sus estigmas son capitados y de placentación axilar. El fruto es una baya de forma cónica alargada con un tamaño medio de 14 cm de largo, 6 cm de diámetro en su base, de color verde amarillo, verde oscuro, rojo intenso o brillante en su madurez. El pericarpio mide de 1 a 3 mm de espesor, tiene un pedúnculo grueso (4 a 10 mm), glabro y de aproximadamente 3 cm de largo. Las semillas son de forma reniforme, lusas y sin brillo, de color blanco en fruto fresco y amarillentas en fruto seco. Su diámetro promedio es de 4 mm, un gramo contiene de 160 a 170 semillas. Conservan su poder germinativo hasta por diez meses posterior a este lapso la tasa de germinación disminuye (López, 1989).

Las condiciones ecológicas requeridas para su producción, son suelos con textura migajón arenosos, clima con rangos de temperatura entre 18 y 24°C y normalmente cultivado bajo condiciones de riego.

La producción bajo invernadero en los últimos años se ha incrementado, sin embargo, la heterogeneidad de los frutos, producto de la cruce de diferentes tipos entre los diferentes sitios y localidades y la falta de mejoramiento genético en este tipo de chile tienen como consecuencia que dentro de la misma parcela se encuentren poblaciones de plantas con frutos que varían ampliamente en su forma color, tamaño y picor.

2.2 Hongos micorrízicos arbusculares.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo que forman simbiosis con el 80% de las plantas terrestres, formando arbusculos, vesículas e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan. Su distribución es amplia, ya que se encuentran en todos los ecosistemas y suelos; puede ser muy heterogénea en un mismo sitio en cuanto a variedad y cantidad. Esta asociación simbiótica entre el hongo y la planta actúa como un complemento de la raíz de la planta en la toma de nutrientes, especialmente la absorción de P, aumento de la tolerancia a condiciones de estrés abiótico, mejoramiento de la calidad del suelo, fijación de nitrógeno y aumento en la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema determinado (Giovanetti *et al.*, 1998, Vierheiling, 2004., Douds *et al.*, 1999., Sierverding 1986., Requena 2007, Azcón-Aguilar, *et al.*, 1997).

2.3. Micorrizas

El término micorriza que quiere decir hongo-raíz fue originado por Frank en 1885; quien estaba seguro de que estas asociaciones eran importantes para la nutrición de ambas partes. Las micorrizas son asociaciones multifacéticas que comprenden diversas categorías morfológicas, funcionales y evolutivas (Brundrett, 2002).

2.3.1 Endomicorriza

Las asociaciones de micorrizas arbusculares, llamadas también micorrizas glomeromicota son las más ampliamente distribuidas y las asociaciones más comunes (Brundrett, 2004). Se consideran endomicorrizas debido a que las asociaciones se forman dentro de las raíces.

2.3.2 Estructura y función

Los hongos se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical, las hifas penetran al interior de las células epidérmicas y corticales de la raíz, formando redes dicotómicas que al extenderse forman arbusculos. Las esporas varían entre 50 y 500 μm de diámetro. Son asexuales y el micelio es vegetativo con estructuras intraradicales que son septadas y multinucleadas. Forma una red de hifas que crece desde la raíz hasta el suelo desarrollando un micelio que se encarga de colonizar y explorar la rizosfera formando su propia hifosfera (Brundrett, 2004).

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares es una práctica que ha tenido beneficios en la producción agrícola. La actividad simbiótica que presentan los

hongos micorrízicos arbusculares (HMA) puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola (Kaya et al., 2003; Vosatka et al., 1999; Shama y Adholeya, 2000). Dentro de los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, están: promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta (Allen et al., 2001; Khalil et al., 1994); tolerancia a patógenos del suelo (Khalil et al 1998; Graham et al., 1994); y a condiciones abióticas adversas (Kaya et al., 2003; Kaya et al., 2009, Copeman et al., 1996). Por lo tanto, la inoculación micorrízica representa una práctica que debe ser incorporada a los sistemas de producción (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2004). Aunque es abundante el conocimiento sobre los impactos de los HMA en hortalizas que se producen en campo abierto, aún quedan temas abiertos a la investigación con micorrizas en condiciones de invernadero y sustratos artificiales.

2.3.3 Efectos fisiológicos de las asociaciones micorrízicas en Chile

La micorriza arbuscular se presenta como un mejorador de la nutrición, tanto de plantas como de suelo. Dentro de las funciones que se han investigado se encuentra la contribución a la absorción de minerales por la planta, aumento de la tasa fotosintética, redistribución del carbono fijado hacia las raíces, aumento de biomasa y en diversidad de los microorganismos del suelo (y por lo tanto de estabilidad del suelo), también se han reportado efectos inhibitorios o estimulatorios sobre las bacterias fijadoras de N (Schroeder y Janos, 2005), las solubilizadoras de P y sobre los patógenos de plantas como *Verticillium sp* y *Phytophthora capsici* (Espinoza-Victoria et al., 2004) y uno muy importante durante situaciones de estrés hídrico (Sreenivasa et al., 1993).

Las raíces del chile forman normalmente asociaciones simbióticas con hongos micorrízicos arbusculares (AM) (Davies *et al.*, 1992). En las asociaciones micorrízicas, las plantas aportan al hongo fotosintatos, mientras el hongo apoya a la absorción de nutrientes especialmente fósforo. El potencial de los hongos AM para incrementar el crecimiento de las plantas bajo condiciones de suelos con bajo contenido de fósforo ha sido documentado (Augé, 2001). Aunque también ha sido documentado que algunas especies de *Glomus* aisladas han demostrado que estimulan el crecimiento de la planta independientemente del estado nutricional del fósforo o cuando no está limitado su disposición (Davies *et al.*, 2000).

2.4 Porcentaje de colonización

La determinación del porcentaje de colonización sirve para identificar las raíces micorrizadas. Inicia con la exposición de las raíces en una solución de KOH al 10%, que es posteriormente expuesta a calor controlado en una olla con una presión de 10 lb durante 10 minutos, repitiendo el paso para la obtención de raíces libres de pigmentos (taninos, polifenoles, etc). Posteriormente, las raíces son enjuagadas con agua corriente para después exponerlas a agua oxigenada comercial entre 10 y 15 minutos (Alarcón *et al.*, 2004).

Las raíces se enjuagan nuevamente y se adiciona una solución de HCl al 10% durante 10 minutos. Transcurrido dicho lapso el ácido se elimina y sin enjuagar, las raíces son sumergidas en una solución colorante de azul tripano (0.05%) en lactoglicerol (100 ml de ácido láctico comercial, 100 ml de glicerina comercial y 100 ml de agua destilada) (Alarcón *et al.*, 2004).

Las raíces se exponen a calor (a ebullición o en olla de presión a 10lb), durante 10 minutos, para facilitar su tinción. Una vez teñidas las raíces, se cortan en segmentos de 1.5 cm de largo (procurando que sean las raíces más finas) y se colocan en forma paralela, sobre porta objetos con unas gotas de lactoglicerol. En cada portaobjetos se montan 25 segmentos de raíz por cuatuplicado y finalmente, se les coloca un cubreobjetos, quedando la preparación lista para su observación al microscopio óptico a objetivo de inmersión 100x. Este procedimiento, a pesar de ser tan laborioso, permite realizar una mejor estimación de la colonización de las diferentes estructuras características de los hongos micorrízicos arbusculares en las células corticales (Alarcón *et al.*, 2004).

Una vez realizada la observación microscópica de las raíces y por haber procedido a contar los segmentos radicales colonizados o no colonizados por los HMA, se procede a calcular el porcentaje de la frecuencia de colonización.

El método consiste en colocar aproximadamente un gramo de raíces, previamente teñidas, en cajas Petri cuadrículadas. Las raíces se distribuyen en el interior de la caja y se les agrega un poco de agua para que no se deshidraten. La caja se coloca bajo el microscopio estereoscópico y se comienza la observación, siguiendo las líneas de la cuadrícula, empezando por las líneas de la cuadrícula horizontal y al finalizar, continuar con las líneas de la cuadrícula vertical (Alarcón *et al.*, 2004).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en la localidad de Santa María Macuá en el Municipio de Tula de Allende en el Estado de Hidalgo. Se encuentra a 2297 msnm a 20°03' de latitud Norte y a 99°21' longitud Oeste. El clima es templado semiseco, con una temperatura anual media de 17.6°C con heladas poco frecuentes y una precipitación pluvial media de 730 mm. Se dispuso de un invernadero de estructura metálica y cubierta de polietileno con sistema de riego por goteo.

3.2 Materiales

3.2.1 Variedades de chile

El chile de agua es un tipo criollo de la zona de Valles Centrales de Oaxaca que cuenta con sabor y picor muy apreciado; sin embargo se presenta mucha variabilidad, En esta investigación se cuenta con material genético de cuatro comunidades: Tlacoahuaya y Abasolo del Municipio de Tlacolula, Zimatlán de Álvarez y Sola de Vega.

3.2.2 Composta

Se utilizaron 700 gramos de lombricomposta por cada maceta con el objetivo de brindar las condiciones adecuadas para la colonización de las micorrizas. La composta fue adquirida en una empresa en Texcoco que fabrica con base a residuos orgánicos de basura urbana.

3.2.3 Inoculo de micorriza

Se utilizaron tres fuentes de micorriza, Micofos®, Hortic Plus®. Estos productos se encuentran en el mercado y son usados en su mayoría para producción de hortalizas. Una tercera fuente fue una cepa de *Glomus mosseae*, obtenida del Laboratorio de Edafología del Colegio de Posgraduados. Las cantidades recomendadas de cada uno de ellos fueron aplicadas en maceta como se muestra en el Cuadro 1. Las cantidades aplicadas varían en unidades ya que la presentación de los mismos inóculos es diferente, para Micofos®, su presentación es líquida, Hortic Plus® es un polvo y la cepa de *G. mosseae* es un granulado.

Cuadro 1. Dosis aplicadas por cepellon de hongos endomicorrizicos

Cepa	Micofos®	Hortic Plus®	<i>Glomus mosseae</i>
Cantidad aplicada en sustrato	250 ml por Ha.	1.5 kg·m ³ .	5g por cepellón*

* cantidad recomendada por el Laboratorio de Edafología del Colegio de Posgraduados

3.3 Diseño experimental

El diseño usado fue bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por un surco de 2.4 metros de largo con siete plantas en macetas de plástico con capacidad para 12 kg, dispuestas a cuarenta centímetros de separación entre ellas.

3.4 Variables a evaluar

Días a floración (anthesis). La unidad de medición se expresa en días acumulados a partir de la siembra y hasta que el 50% de las plantas tengan abierta la primera flor.

Vigor de la planta (mm). Será medido como diámetro del tallo en el nudo inferior a la primera bifurcación, medidos con un vernier.

Altura de planta al primer y último corte (cm). Se tomó la medida desde el cuello de la planta, se usó cinta métrica.

Número de frutos por planta. Total de frutos cosechados por planta durante el ciclo.

Peso de frutos (g). Peso de cada fruto cosechado durante el ciclo, unidades en gramos. Se utilizó báscula electrónica.

Rendimiento por hectárea (t). Obtenidos los pesos de los frutos de todos los cortes por planta expresándolo en toneladas por hectárea de acuerdo a la densidad de plantación.

Longitud de fruto (cm). Medido desde el primer al último corte en todas las unidades de las unidades experimentales con una regla de 30 cm.

3.5 Manejo del experimento

Las semillas fueron sembradas el 11 de marzo del 2012 en charolas con 200 cavidades previamente desinfectadas, las cuales fueron llenadas con sustrato a

base de turba y regadas constantemente. Después de 15 días empezaron a emerger las primeras plántulas. La testa de la semilla era muy dura ya que frecuéntemente la plántula por sí misma no podía romperla y se mantenían dentro de ella las hojas cotiledonales y muchas veces se deformaron. La colecta Abasolo presenta mayormente este problema. Para solucionarlo, se humedeció la testa para suavizarla y poder desprenderla; fueron trasplantadas hasta obtener la cuarta hoja verdadera (con un tamaño de 15 cm); el 14 de mayo del 2012, setenta días después de la siembra, más de lo acostumbrado debido a que la temperatura promedio en el Municipio de Tula es de 17.5 °C.



Figura 1. Plántulas de chile de agua (*Capsicum annuum* L) una semana antes del trasplante (8 de mayo del 2012).

El trasplante se realizó el 14 de mayo en macetas de plástico negro llenadas con 12 kg de arena volcánica (tezontle rojo) nueva de gránulos finos extraída de una mina cercana al invernadero. Un día antes del trasplante se dio un riego pesado.

A cada maceta se aplicaron 700 g de lombricomposta en el centro y se removió un poco para su distribución. Después del trasplante se aplicó riego a cada una de ellas nuevamente.

La inoculación fue llevada a cabo de acuerdo a las especificaciones del producto para cada una de las tres diferentes fuentes de micorriza y así mismo manteniendo testigos de acuerdo al arreglo del experimento que consistió en la no inoculación (Cuadro 1).

A los 40 días después del trasplante se tutoraron las plantas con rafia horizontal y a los 60 días de forma vertical y se eliminaron los brotes y hojas anteriores a la primera bifurcación.



Figura 2. Aplicación de la fuente de micorrizas

Durante el primer mes los riegos se administraron tres veces al día, con cintas de goteo con goteros cada 20 cm durante 4 minutos; durante los cuarenta días siguientes los riegos fueron por 6 minutos y por último ya en fase de producción se

aplicaron los seis riegos a ocho minutos, de acuerdo con la etapa fenológica se administró la solución nutritiva universal de Steiner (1984), modificada por Pérez y Castro (1999) por medio de sistema de riego por goteo.

Se aplicó Confidor® con una dosis de $1.5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, de acuerdo a las especificaciones del producto y Beleaf® con una dosis de $150 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ para prevenir *Paratrioza cockerelli*.

Se llevó a cabo cortes uno o dos cortes por semana, el corte se hace cuando el fruto alcanza un tono verde oscuro ya que inmediatamente tornara a “verde limón” y posteriormente a rojos.

El corte se hizo con navaja, ya que el tallo es muy frágil pudiéndose cortar y debido a que los frutos están en las bifurcaciones se comprometen varios frutos y/o tallos en crecimiento si no se tiene suficiente cuidado.

Los frutos fueron clasificados en primera y segunda calidad esto fue de acuerdo con el tamaño, considerando desde 10 cm los frutos de primera, los demás serían de segunda calidad.

3.6 Determinación del porcentaje de colonización

Se procedió primero a elegir una muestra aleatoria de siete plantas por cada repetición de los 16 tratamientos con las que se llevaría la determinación. Se cortó el tallo y se sacó el sistema radical, las raíces estaban llenas de tezontle y debido

a la composta se lavaron varias veces en agua limpia cada una para poder desprender los restos de sustrato hasta quedar limpias.



Figura 3. Raíz en proceso de lavado

Se escogieron las raíces más finas de cada una de las muestras y fueron colocadas en frascos para su preparación.

Este proceso se hace para identificar las raíces micorrizadas. Se inicia con la exposición de las raíces en una solución de KOH al 10% y expuesta a calor controlado en una olla con una presión de 10 lb durante 10 minutos, repitiendo el paso para la obtención de raíces libres de pigmentos (taninos, polifenoles, etc). Posteriormente, las raíces son enjuagadas con agua corriente para después exponerlas a agua oxigenada con peróxido de hidrógeno al 3% entre 10 y 15 minutos (Alarcón *et al.*, 2004).

Las raíces se enjuagan nuevamente y se adiciona una solución de HCl al 10% durante 10 minutos. Transcurrido dicho lapso el ácido se elimina y sin enjuagar, las raíces son sumergidas en una solución colorante con azul tripano (al 0.05% de concentración) con lactoglicerol. El lactoglicerol se compone de 100 ml de ácido láctico comercial, 100 ml de glicerina comercial y 100 ml de agua destilada (Alarcón *et al.*, 2004).

Las raíces pueden permanecer durante 24 h sobre la solución colorante de tripano con lactoglicerol para facilitar que el colorante las tiña. Una vez teñidas, estas se cortan en segmentos de 1.5 cm de largo (procurando que sean las raíces más finas) y se colocan en forma paralela, sobre porta objetos con unas gotas de lactoglicerol. En cada portaobjetos se montan 25 segmentos de raíz y finalmente, se les coloca un cubreobjetos, quedando la preparación lista para su observación al microscopio óptico a objetivo de inmersión 100x. Este procedimiento, a pesar de ser tan laborioso, permite realizar una mejor estimación de la colonización de las diferentes estructuras características de los hongos micorrízicos arbusculares en las células corticales (Alarcón *et al.*, 2004).

Una vez realizada la observación microscópica de las raíces y por haber procedido a contar los segmentos radicales colonizados o no colonizados por los HMA, se procede a calcular el porcentaje de la frecuencia de colonización.

La determinación del porcentaje de colonización se basa en la observación microscópica de segmentos de raíz teñidos y en ellos, contabilizar los que presentan estructuras fúngicas (hifas, arbusculos y vesículas). El porcentaje de

colonización total se determina dividiendo el número de segmentos colonizados de los no colonizados.

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados (hifas, arbusculos, vesículas)}}{\text{Número de segmentos totales observados}} \times 100$$

3.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANAVA), prueba de comparaciones múltiples de medias (Tukey) y correlaciones entre variables, con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

El análisis de varianza de la información del experimento se basó en el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + M_i + C_j + (M \times C)_{ij} + B_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = respuesta al i -ésimo nivel del factor micorriza, j -ésimo nivel del factor composta, k -ésimo bloque,.

μ = media general del experimento, en cada variable.

M_i = efecto del i -ésimo nivel del factor micorriza

C_j = efecto del j -ésimo nivel del factor colecta de chile de agua

$(M \times C)_{ij}$ = interacción del i -ésimo nivel de micorriza por el j -ésimo nivel de colecta

B_k = efecto del k -ésimo bloque.

E_{ijk} = error experimental asociado a la observación ijk .

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de varianza no factorial con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = respuesta del i -ésimo tratamiento, j -ésimo bloque.

μ = media general del experimento, en cada variable.

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (combinaciones de niveles de factores con colectas).

B_j = efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = error experimental asociado a la observación ij .

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Efecto de colectas de chile de agua

Hubo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre colectas de chile de agua para días a floración, total de frutos, peso y longitud de fruto; número de frutos de primera y segunda calidad y rendimiento por planta y por hectárea. Mientras que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) solo para días a floración (Cuadros 2 y 3).

Las medias generales para peso y longitud de fruto son 26.19 g y 15.6 para rendimiento por planta y por hectárea son 428 g y 13.4 t·ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 3) con respecto al ancho de los chiles fue en promedio de 5 cm por lo cual este carácter no es mostrado en los Cuadros.

4.1.2. Efecto de las micorrizas

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre micorrizas para altura de planta (AP), días a floración (DF), vigor de la planta, porcentaje de colonización (COL), peso promedio de fruto (PF), longitud de fruto (LONG) y rendimiento por planta (RP) y por hectárea (REND). No hubo diferencias significativas para total de frutos por planta y número de frutos de primera y segunda calidad (Cuadros 2 y 3).

4.1.3. Efecto de interacción de colectas x micorrizas

La interacción de colectas de chile x micorrizas solo fue significativa para días a floración y total de frutos, lo que indica que las diferencias entre colectas se

mantienen similares ante todas las cepas de micorrizas, para todas las variables estudiadas, con excepción de días a floración y total de frutos. (Cuadros 2 y 3).

Estudios sobre los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares mencionan sobre su efecto en la absorción de nutrientes por parte de las plantas que han sido relacionadas con un grado de selectividad entre la planta y el hongo y que las diferentes especies de HMA tienen efectos diferentes sobre distintas especies de plantas (Van Der Heijden, 2003).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza factorial para cinco caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

F.V.	G.L.	AP (cm)	DF (días)	VIGOR (mm)	COL (%)	TF (frutos ·tratamiento ⁻¹)	FP (frutos· planta ⁻¹)
MODELO	18	1676.9*	233.6**	3930.9*	8544.6*	4847.2*	98.9*
COLEC	3	3.9ns	114.5*	225.1 ns	199.4ns	3627.1*	74.1 *
MICO	3	1348.3*	52.9*	3043.39*	6942*	87.9 ns	1.8ns
CxM	9	268.6 ns	65.6*	538.3 ns	1182.6ns	951.3*	19.4ns
BLOQUE	3	56.0 ns	0.6 ns	124.3 ns	220.6 ns	180.9 ns	3.7 ns
ERROR	45	354.7	9	1617.9	3143.3	863.3	17.6
TOTAL	63	2031.6	24	5548.9	11688	5710.4	116.5
CV (%)	--	2.8	3.9	4.3	30.3	3.7	3.8
MEDIA	--	97.6	29.2	139.0	27.54	115.2	16.5

F.V.: fuentes de variación; COLEC: colecta; MICO: fuente de micorriza; CxM: interacción colectas con cepas micorrízicas; CV(%): coeficiente de variación; MEDIA: media general del experimento; G.L.: grados de libertad; AP: altura de planta (cm); DF: días a floración después del trasplante, (70 días de siembra a trasplante); VIGOR (mm); COL: porcentaje de colonización (%); TF, total frutos por tratamiento; FP: frutos por planta. *significativo ($p \leq 0.05$), ** altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns: no significativo.

La variable de longitud de fruto (LONG, cm) presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre colectas y entre micorrizas (Cuadro 3), y entre el peso promedio de los frutos (RPP, g·planta⁻¹) entre ambos factores.

Las medias de peso de los frutos totales por planta evaluado (RP, g·planta⁻¹) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) tanto entre colectas como entre

micorrizas. En los números de frutos de primera y segunda calidad (NF1, NF2, frutos·planta⁻¹) hubo diferencias entre colectas pero no entre micorrizas.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza factorial para siete caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

F.V.	GL	PF (g)	LONG (cm)	RP (g· planta ⁻¹)	REND (t·ha ⁻¹)	NF1 frutos· trat ⁻¹ .	NF2 frutos· trat ⁻¹ .
MODELO	18	133.5*	11.7*	17976.6*	17555287*	8623.3*	13598.1*
COLEC	3	89.5*	5.9*	2014.1*	1966919.7*	447.1*	5816.31*
MICO	3	32.3*	2.7*	10799.5*	10546411*	5841.5 ns	4757.6ns
C*M	9	6.7ns	0.74ns	4985.1ns	4868282.2 ns	1720.3 ns	1886.43ns
BLOQUE	3	4.9 ns	2.2 ns	177.8 ns	173673.5 ns	614.3ns	1137.6ns
ERROR	45	22.9	5.8	1698.3	1658498.8	1681.6	2303.3
TOTAL	63	156.4	17.5	19674.9	19213785	10305	15901.4
CV (%)	--	4.9	4.3	2.5	2.5	11.5	11.2
MEDIA	--	26.2	15.6	428.6	13.4	53.1	62.1

F.V.: fuentes de variación; COLEC: colecta; MICO: fuente de micorriza; CxM: interacción colectas con cepas micorrízicas; CV(%): coeficiente de variación; MEDIA: media general del experimento; G.L.: grados de libertad; PF: peso promedio del fruto por planta, LONG: longitud del fruto (cm); RP: rendimiento por planta (g·planta⁻¹); REND: rendimiento (t·ha⁻¹); NF1: número de frutos de primera calidad; NF2: número de frutos de segunda calidad, *significativo(p≤0.05),** altamente significativo(p≤0.01); ns: no significativo.

4.1.4 Efecto de tratamientos (combinaciones de cepas y micorrizas)

Existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para altura de planta (AP, cm), frutos por planta (FPP), total de frutos, peso de fruto por planta (g), longitud de fruto (LONG, cm) y número de frutos de primera y segunda calidad (NF1 y NF2, frutos·planta⁻¹). También hay diferencias altamente significativas entre tratamientos para días a floración después del trasplante (DF), rendimiento por planta (g·planta⁻¹) y por hectárea (t·ha⁻¹) (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza no factorial para siete caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012

F.V.	G.L.	AP (cm)	DF (días)	VIGOR (mm)	COL (%)	TF (frutos ·tratamiento ⁻¹)	FP (frutos· planta ⁻¹)
TRAT	18	1676.9*	233.6**	3930	8544.6*	4847.1*	98.9*
BLOQUE	3	56.1	0.6	124.2	220.6	180.9	3.7
ERROR	45	354.7	8.3	1617.9	3143.3	863.3	17.6
TOTAL	63	2031	242	5548.8	11688	5710.4	116.5
CV (%)	--	2.8	1.4	4.3	30.4	3.7	3.7
MEDIA	--	97.5	29.2	139.1	27.5	115.2	16.4

F.V.: Fuentes de variación; TRAT: tratamiento; CV(%): coeficiente de variación; MEDIA: media general del experimento; G.L.: grados de libertad; AP: altura de planta (cm); DF: días a floración (70 días de siembra a trasplante); VIGOR (mm); COL: porcentaje de colonización (%); TF, total frutos por tratamiento; FP: frutos por planta; *significativo ($p \leq 0.05$), ** altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns: no significativo.

Los genotipos tanto de los hospedantes como de los HMA involucrados en la simbiosis son diferentes y ambos determinan la respuesta de la inoculación con los HMA, de tal forma que no necesariamente influyan sobre el crecimiento de la planta (Alarcón *et al.*, 2004).

Cuadro 5. Cuadrados medios para cinco caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

F.V.	G.L.	PF (g)	LONG (cm)	RP (g· planta ⁻¹)	REND (t·ha ⁻¹)	NF1 (frutos· trat ⁻¹)	NF2 (frutos· trat ⁻¹)
TRAT	18	133.4*	11.7*	17976.6**	17.5**	8623.3*	13598.1*
BLOQUE	3	4.9	2.27	177.8	17.3	614.3	1137.6
ERROR	45	22.9	5.8	1698.3	16.5	1681.6	2303.3
TOTAL	63	156.4	17.5	19674.9	19.2	10305	15901.4
CV (%)	--	4.9	4.3	2.5	2.5	11.5	11.5
MEDIA	--	14.5	15.6	428.6	13.3	53.1	62.0

F.V.: fuentes de variación; TRAT: tratamiento; CV(%): coeficiente de variación; MEDIA: media general del experimento; G.L.: grados de libertad; PF: peso promedio del fruto por planta, LONG: longitud del fruto (cm); RP: rendimiento por planta (grs·planta⁻¹); REND: rendimiento (t·ha⁻¹); NF1: número de frutos de primera calidad; NF2: número de frutos de segunda calidad.*significativo ($p \leq 0.05$), ** altamente significativo ($p \leq 0.05$); ns: no significativo.

4.2 Comparación de medias

4.2.1. Colectas de chile de agua

La colecta Abasolo superó estadísticamente ($p \leq 0.05$) a las colectas Tlacoahuaya, Zimatlán y Sola de Vega en peso (29.68 g) y longitud de fruto (16.6 cm) en número de frutos de primera calidad (56.3 frutos) días a floración (antes) 31.5 días después del trasplante, lo que significa que es la colecta más tardía (Cuadros 5 y 6). Es importante señalar que este chile se comercializa por unidad por lo que entre más grandes obtienen mejor precio.

Cuadro 6. Comparación de medias de niveles factorial para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012

FACTOR	AP (cm)	DF (días)	VIGOR (mm)	COL (%)	FT (frutos ·tratamiento ⁻¹)	FP (frutos· planta ⁻¹)						
COLECTA												
TLACO	97.4	a	28.1	b	139.8	a	25.1	a	120.1	a	17.1	a
ZIMATLAN	97.5	a	28.4	b	137.9	a	27.1	a	118.9	a	16.9	a
ABASOLO	98	a	31.5	a	141.6	a	27.8	a	102.3	b	14.6	b
SOLA DE VEGA	97.4	a	29	b	136.7	a	30.1	a	119.8	a	17.1	a
DMSH	2.6		0.4		5.6		7.9		4.1		0.6	
MICORRIZA												
MICOFOS®	104.4	a	28.8	b	142.8	a	44	a	116.2	a	16.6	a
HORTIC PLUS®	98.5	b	28.8	b	142.6	a	24.3	b	115.1	a	16.4	a
<i>Glomus mosseae</i>	95.3	c	28.5	b	143.6	a	26.6	b	116.4	a	16.6	a
DMSH	2.6		0.4		5.6		7.9		4.1		0.6	

TLACO: Tlacoahuaya; AP: altura de planta (cm), DF: días a floración después del trasplante (70 días a trasplante), VIGOR (mm), COL: porcentaje de colonización (%); FT: total frutos por tratamiento; FP: frutos por planta; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05)

La colecta Zimatlán resulto ser la más rendidora por planta y por hectárea ($436 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ y $14.6 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) aunque estadísticamente solo supero a Tlacoahuaya y a Sola de Vega. En altura de planta todas las colectas fueron estadísticamente iguales, cercanas a un metro, lo mismo ocurrió con el vigor de la planta (139 mm) y el porcentaje de colonización (COL, 27.5%) de acuerdo con lo presentado en los Cuadros 6 y 7. Esto se debe a que podemos encontrar diferentes grados de respuesta y dependencia a la actividad de los hongos micorrízicos arbusculares entre variedades de una misma especie (Brundrett, 2002).

Cuadro 7. Comparación de medias de niveles factorial para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012

FACTOR	PF (g)		LONG (cm)		RPP (g·planta ⁻¹)		REND (t·ha ⁻¹)		NF1 (frutos·trat ⁻¹)		NF2 (frutos·trat ⁻¹)	
COLECTA												
TLACO	24.3	c	15.0	b	416.8	b	13.8	b	54.9	ab	64.7	a
ZIMATLAN	26.1	b	15.5	b	443.5	a	14.6	a	51.6	ab	67.3	a
ABASOLO	29.7	a	16.6	a	431.6	ab	14.2	ab	56.3	a	45.9	b
SOLA DE VEGA	24.7	c	15.3	b	422.5	b	13.9	b	49.6	b	70.3	a
DMSH	0.6		0.3		5.8		1.8		5.7		6.8	
MICORRIZA												
MICOFOS®	25.8	b	15.2	b	425.8	b	14.0	b	59.7	a	56.4	b
HORTIC PLUS®	25.8	b	15.9	a	421.8	b	13.9	b	58.3	a	56.3	b
<i>Glomus mosseae</i>	28.3	a	16.0	a	465.7	a	15.3	a	57.7	a	58.6	b
DMSH	0.6		0.33		5.79		1.8		5.7		6.7	

PF: peso promedio del fruto por planta, LONG: longitud del fruto (cm); RPP: rendimiento por planta ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$); REND: rendimiento ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$); NF1: número de frutos de primera calidad ($\text{frutos}\cdot\text{planta}^{-1}$); NF2: número de frutos de segunda calidad ($\text{frutos}\cdot\text{planta}^{-1}$); DMSH: diferencia significativa honesta. Medias con letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05)

El porcentaje de colonización no parece estar asociado directamente a un mayor vigor y rendimiento en general (por planta y por hectárea) dado que no hubo

diferencias entre grado de colonización entre colectas pero si las hubo entre rendimiento de las mismas (Cuadros 7 y 8).

Por último, las colectas Abasolo y Zimatlán presentan la mayor cantidad de frutos de primera calidad, los frutos con más peso y de mayor tamaño (longitud).

4.2.2. Micorrizas aplicadas

La cepa de micorrizas que resulto estadísticamente ($p \leq 0.05$) superior a Micofos® y Hortic Plus® para peso de fruto (28.3 g), rendimiento por planta (465.7 g·planta⁻¹) y rendimiento por hectárea (14.3 t·ha⁻¹) fue *Glomus mosseae*; sin embargo, Micofos® fue la cepa que produjo el mayor porcentaje de colonización (44%), hecho que solo se reflejó en una superioridad en el porte de altura de la planta, pero no así en el rendimiento de fruto y sus componentes (Cuadros 7 y 8)

Las medias de número de frutos de primera y segunda calidad, días a floración, vigor de la planta y total de frutos fueron estadísticamente iguales entre cepas de micorrizas (cuadros 7 y 8). En la eficiencia de los hongos micorrizico-arbusculares son la agresividad, infectividad y capacidad de dispersión son los factores más importantes, por lo que algunas veces las condiciones de infectividad y efectividad del hongo micorrízico depende no sólo del simbiote, sino también de las condiciones ambientales. La compatibilidad que se tenga entre ambos genotipos (hospedante-simbiote) será determinante en el éxito a utilizarla (Alarcón, 2004).

La cepa micorrízica *Glomus mosseae* produjo mayor peso de fruto y rendimiento unitario de fruto de las tres cepas micorrízicas aplicadas de chile de agua.

4.2.3 Tratamientos (combinaciones de colectas y micorrizas)

El tratamiento 7 (Colecta Zimatlán + *Glomus mosseae*) fue estadísticamente el mejor para rendimiento por planta (496 g) y por hectárea (15.5 t) y estuvo entre los cuatro mejores tratamientos para número total de frutos (121) (Cuadros 7 y 8). La misma colecta de Zimatlán inoculada con la cepa Micofos® (tratamiento 5) de micorriza fue la de mayor vigor (146.75 mm) y altura de planta (109.25 cm). Sin embargo esta superioridad para rendimiento de los tratamientos 5 y 7 (combinaciones de Zimatlán con *Glomus mosseae* y con Micofos® respectivamente no tienen ninguna relación con el porcentaje (grado) de colonización logrado (43.0 y 29.75% respectivamente) ya que el mayor nivel de colonización lo presentó el tratamiento 1 (colecta Tlacoahuaya + Micofos®) con un rendimiento de 13.12 t·ha⁻¹, contra 14.51 t·ha⁻¹ y 15.5 t·ha⁻¹ de los tratamientos 5 (Zimatlán + Micofos®) y 7 (Colecta Zimatlán + *Glomus mosseae*).

Los mejores tratamientos 5 y 7 (ambos de la colecta Zimatlán) superaron ($p \leq 0.05$) con 21 y 29% a su respectivo testigo (Colecta Zimatlán) sin inoculación de micorriza.

Se observó que la colecta de chile de agua Zimatlán inoculada con *Glomus mosseae* obtuvo el rendimiento por planta estadísticamente mayor mientras que Zimatlán testigo que fue el de rendimiento más bajo de todos y que la colecta

Abasolo inoculada con *Glomus mosseae* tiene los frutos más grandes, con más peso y la planta más vigorosa de todos los tratamientos (Cuadro 9).

Cuadro 8. Comparación de medias de combinaciones de cuatro colectas y micorrizas para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

TRAT	COLECTA	MICO	AP (cm)	DF	VIGOR (mm)	COL (%)	TF (frutos· Trat ⁻¹)	FP (frutos· planta ⁻¹)
1	Tlaco	Micofos ®	105 ab	28.5 fg	146.7 a	47.5 a	118 ab	16.8ab
2	Tlaco	Hortic P. ®	96.5 cdef	28 fgh	145 ab	19 cd	121.2 a	17.3 a
3	Tlaco	<i>Glomus m.</i>	95.7 cdef	27 h	141.7 ab	22.2 bcd	122.5 a	17.5 a
4	Tlaco	Testigo	92.2 f	29 ef	125.7 d	11.7 d	118.5 ab	16.9ab
5	Zimatlán	Micofos ®	109.2 a	27 h	146.7 a	43 ab	127.2 a	18.1 a
6	Zimatlán	Hortic P. ®	97.5 cdef	27.5 gh	138 abcd	21 cd	117.5 ab	16.7ab
7	Zimatlán	<i>Glomus m.</i>	92.7ef	29.7 de	141.2 abc	29.7 bcd	121.5 a	17.3 a
8	Zimatlán	Testigo	90.5 f	29 ef	125.7 d	14.5 d	109.2 bc	15.6bc
9	Abasolo	Micofos ®	103.2 abc	32 b	144.2 ab	43 ab	100.7 c	14.3c
10	Abasolo	Hortic P. ®	99.7 bcde	29.7 de	144.7 ab	19 cd	102.2 c	14.6c
11	Abasolo	<i>Glomus m.</i>	97.2 cdef	30.5 cd	147 a	30 abc	98 c	14c
12	Abasolo	Testigo	91.7 f	33.7 a	130.7 bcd	19 cd	108 bc	15.4bc
13	Sola de V	Micofos ®	100.2 bcd	27.5 gh	133.5 abcd	42.5 ab	118.5 ab	16.9ab
14	Sola de V	Hortic P. ®	100.5 bcd	30 de	142.5 ab	38 abc	119.2 ab	17.0ab
15	Sola de V	<i>Glomus m.</i>	95.5 def	27 h	144.75 ab	24 bcd	123.7 a	17.6a
16	Sola de V	Testigo	93.5 def	31.5 bc	126.2 cd	15.7 d	118 ab	16.8ab
DMSH			7.4	1.1	15.3	21.3	11.9	1.7

TRAT: tratamiento; Tlaco: Tlacoahuaya; MICO: fuente de micorriza; AP: altura de planta (cm), DF: días a floración después del trasplante (70 días de siembra a trasplante), VIGOR (mm), COL: porcentaje de colonización (%); FT: total frutos por tratamiento; FP: frutos por planta; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05)

Los factores que se deben tomar para el establecimiento de los hongos endomicorrízicos son la agresividad, la capacidad de infectividad y de dispersión. Estas variaran por la condiciones ambientales, al mismo tiempo debe existir

capacidad para ser compatibles tanto la raíz hospedante así como el hongo micorrízico.

Cuadro 9. Comparación de medias de las combinaciones de cuatro colectas y micorrizas para caracteres evaluados en chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

TRAT	COLECTA	MICO	PF (g)	LONG (cm)	RP (g·planta ⁻¹)	REND (t·ha ⁻¹)	NF1 (frutos· trat ⁻¹)	NF2 (frutos· trat ⁻¹).
1	Tlaco	Micofos ®	24.9 de	14.6 c	419.7 defg	13.1 defg	52 bcdef	66 abc
2	Tlaco	Hortic P. ®	24.1 de	15.7abc	418.7 defg	13.1 defg	66.7 ab	53 cde
3	Tlaco	<i>Glomus m.</i>	25.5cde	15.2 abc	445.8 bcd	13.9bcd	65.2 abc	57.2 bcde
4	Tlaco	Testigo	22.6e	14.6 c	382.8 hi	11.9 hi	35.7 g	82.7 a
5	Zimatlán	Micofos ®	25.5cde	15.2 bc	464.3 b	14.5 b	66.7 ab	60.7 bc
6	Zimatlán	Hortic P. ®	25.7 cde	15.6 abc	432bcdef	13.5 cdef	50 cdefg	67.5 abc
7	Zimatlán	<i>Glomus m.</i>	28.5bc	16.1 abc	496a	15.5 a	53 abcde	68.5 abc
8	Zimatlán	Testigo	24.4de	14.9 c	381i	11.9 i	36.7 fg	72.7 ab
9	Abasolo	Micofos ®	28.2bc	15.8 abc	406.1fghi	12.6 fghi	60 abcd	40.7 def
10	Abasolo	Hortic P. ®	29.2b	17.1 ab	425.1defg	13.2defg	68.2 a	34 f
11	Abasolo	<i>Glomus m.</i>	32.9 a	17.2 a	458.4bc	14.3bc	58.5 abcd	39.5 ef
12	Abasolo	Testigo	28.3bc	16.2 abc	436.8 cde	13.6bcde	38.7 efg	69.5 abc
13	Sola de V	Micofos ®	24.4de	15.1 bc	413.2 efg	12.9efg	60.2 abcd	58.2 bcd
14	Sola de V	Hortic P. ®	24.1 de	15.3abc	411.3 efgh	12.8ghi	48.5 defg	70.7 abc
15	Sola de V	<i>Glomus m.</i>	26.1bcd	15.7 abc	462.4 b	14.4 b	54.2 abcd	69.5 abc
16	Sola de V	Testigo	23.9de	15.1 bc	402.9ghi	12.5ghi	35.5 g	82.7 a
DMSH				1.04	15.9	499	499	18.4

TRAT: tratamiento; Tlaco: Tlacoahuaya; MICO: fuente de micorriza; PF: peso promedio de un fruto (g); LONG: longitud del fruto (cm); RP: rendimiento por planta (g·planta⁻¹); REND: rendimiento (t·ha⁻¹); NF1: número de frutos de primera calidad; NF2: número de frutos de segunda calidad; DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales en la columna no son estadísticamente diferentes (Tukey; 0.05)

El efecto positivo que se obtiene en plantas inoculadas se debe en parte al crecimiento del micelio, la superficie de contacto para aumentar el transporte de nutrimentos y agua (Alarcón, 2004) así mismo también se han detectado que las

micorrizas apoyan en la formación de agregados (Sheng *et al.*, 2012) con lo que se mejora la calidad del suelo.

4.3 Porcentaje de Colonización

El porcentaje de colonización (COL,%) detectó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre micorrizas (Cuadro 2), no así para la colecta. Una causa puede ser la cepa de hongo y la dinámica de interacción con la planta mostrando diferencias de Micofos® a los otros dos productos (Cuadros 1 y 7). Los porcentajes de colonización son bajos; Sreenivasa (1992) reportó porcentajes de colonización para tratamientos control de 40% sobre suelos no esterilizados, esto depende del tipo de sustrato usado. Para este trabajo se usó tezontle rojo que no contiene materia orgánica; otra causa puede ser las altas temperaturas registradas en los meses de junio (35°C a las 2 pm), Martín C. *et al.* (2004) reportaron que plantas de chile infectadas con *Glomus intraradices* presentaron valores bajos en las raíces colonizadas al someterse a altas temperaturas versus temperaturas moderadas. De la misma forma, Udaiyan K. *et al.* (1996) indicaron que la colonización de raíces de *Acacia farnesiana* por *G. fasciculatum* y *G. geosporum* se correlacionó negativamente al incrementarse la temperatura.

4.3 Correlaciones entre variables

El rendimiento por hectárea (REND) mostró correlación positiva y significativa con peso de fruto (PF; $r=0.46^*$). El peso de fruto (PF) también tuvo correlación con longitud de fruto (LONG, $r=0.61^*$) y rendimiento por planta (RPP, $r=0.54^*$) (Cuadro 9).

El porcentaje de colonización (COL) presento correlación directa, positiva y significativa con altura de planta máxima (AP; $r=0.62^*$). La variable total de frutos (TF) mostro una correlación negativa y significativa con días a floración, (DF, $r=-0.58^*$). La variable peso de fruto (PF) mostró una correlación negativa y significativa con total de frutos (TF, $r=-0.71^*$); es decir a mas frutos por planta el peso de estos disminuye (Cuadro 9).

Cuadro 10. Correlaciones fenotípicas entre caracteres de chile de agua hidropónico en invernadero. Santa María Macuá, Hgo. 2012.

	VIGOR R (mm)	DF	COL (%)	TF (frutos· Trat ⁻¹)	FP (fruto· planta ⁻¹)	PF (g)	LONG (cm)	RP (g·planta ⁻¹)	REND (t·ha ⁻¹)	NF1 (frutos · trat ⁻¹)	NF2 (frutos · trat ⁻¹)
AP	0.54*	-0.25ns	0.62*	0.13ns	0.13ns	0.18ns	0.21ns	-0.008ns	-0.008 ns	-0.25ns	0.07ns
VIGOR		-0.20 ns	0.39ns	-0.017 ns	-0.01ns	-0.017 ns	0.21 ns	0.46*	0.46*	0.53 ns	-0.44ns
DF			- 0.07ns	-0.58*	-0.58*	0.37ns	0.28ns	-0.15ns	-0.15ns	-0.38*	-0.03ns
COL				0.15ns	0.15ns	-0.005ns	-0.032 ns	0.19ns	0.19ns	0.28ns	-0.13ns
TF					1*	-0.71*	-0.37*	0.2 ns	0.2ns	0.26ns	0.57ns
FPP						-0.017	-0.37*	0.20ns	0.20ns	0.026ns	0.57*
PF							0.61*	0.54*	0.53*	0.26	-0.64
LONG								0.39 ns	0.39ns	0.33ns	-0.49*
RPP									1*	0.39ns	-0.19 ns
REND										0.39ns	-0.19
NF1											-0.8 ns
NF2											

AP: altura de planta (cm); DF: días a floración después del trasplante, (fueron 70 días más de siembra a trasplante); VIGOR (mm); COL: porcentaje de colonización (%); TF, total frutos por tratamiento. LONG: longitud del fruto (cm); RPP: rendimiento por planta (g·planta⁻¹); REND: rendimiento (t·ha⁻¹); NF1: número de frutos de primera calidad; NF2: número de frutos de segunda calidad; *significativo,** altamente significativo; ns: no significativo

Contrario a lo esperado, no existe correlación alta ni significativa (0.19) entre el porcentaje de colonización y rendimiento por hectárea, concordando a lo reportado por Castillo *et al.*, (2009) donde se inocularon chiles con *G. intrarradices* considerada como una cepa superior y con un alto grado de infectividad para

muchos cultivares. Se ha comprobado que los conceptos de infectividad y de efectividad no están relacionados y aunque se determine que los hongos micorrízicos arbusculares puedan tener abundante colonización micorrízica (80-90%) no necesariamente inducirán mayores efectos, ya que colonizaciones de menor proporción (15-40%) pueden mostrar excelentes efectos en la nutrición y crecimiento de la planta (Alarcón *et al.*, 2004). Martínez (2013) obtuvo resultados similares en calabacita inoculadas con las mismas fuentes de hongos micorrízicos donde no obtuvo correlación alta y significativa entre el porcentaje de colonización y rendimiento por hectárea.

5. CONCLUSIONES

1. La colecta Abasolo presenta la mayor cantidad de frutos de primera calidad, los frutos con más peso y de mayor tamaño (longitud).
2. La cepa micorrízica *Glomus mosseae* obtuvo mayor peso de fruto y rendimiento unitario de fruto en chile de agua (*Capsicum annuum* L).
3. La colecta de chile de agua Zimatlán inoculada con *Glomus mosseae* obtuvo el rendimiento por planta estadísticamente mayor mientras que Zimatlán testigo que fue el de rendimiento más bajo de todos.
4. La colecta Abasolo inoculada con *Glomus mosseae*. tiene los frutos más grandes, con más peso y la planta más vigorosa de todos los tratamientos.
5. El porcentaje de colonización no mostro una correlación significativa con rendimiento por hectárea pero si con altura de planta.

6. LITERATURA CITADA

- Alarcón, A., Almaraz, S. Ferrera-Cerrato, R., Gonzalez-Chavez, M.A., Lara, H. M., Quintero, M. J. Santamaría, R. S. 2004. Manual: tecnología de hongos micorrizicos en la producción de especies forestales en vivero. En: Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A. Lara H.M. (Eds). Micorrizas Arbusculares. Colegio de Postgraduados. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.
- Allen, B. L., Jolley, V. D., Robbins, C. W., Freeborne, L.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. *Journal Plant Nutrition* 24:921-943.
- Augé, R. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
- Azcón-Aguilar, C., Barea, L. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*, 68: 1-24
- Brundrett, M.C. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* 131, 461-469.
- Brundrett, M., 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev.*, 79. 473-495.

- Castillo, C., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, C., Borie, F., Rubio, R. 2009. Effect Arbuscular mycorrhizal fungi an ecological crop of chilli pepers (*Capsicum annuum* L.) Chilean Journal of Agricultural Research 69 (I):79-87.
- Copeman, R.H. Martin, C. A., Stutz, J.C. 1996., Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline or nonsaline soils. HortScience 31: 341-344.
- Davies, Jr. F.T., Potter, J.R., Linderman, R.G., 1992. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hypae development of pepper plants independent of plant size and nutrient content. J. Plant Physiol. 139:289-294.
- Davies, Jr. F.T., Potter, J.R., Linderman, R.G. 1993. Drought resistance of pepper plants independent of leaf P concentration response in gas exchange and water relations. Plant Physiol 87:45-53.
- Douds, D., Millner, P., 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal in agroecosystems. Agriculture, ecosystems and enviroment. 74:77-93.
- Espinoza-Victoria, D. Gonzalez-Mendoza, D. Placencia-de la Parra, J., García-Espinoza, R. 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. Terra Latinoamericana, Vol. 22: 317:326.

FAOSTAT, 2011. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido el 3 de julio del 2013 de <http://193.43.36.221/site/339/default.aspx>.

Ferrera-Cerrato, R., Alarcon, A: 2008. Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. En: Diaz, F. A., Mayec, P.N., (Eds). La Biofertilización como Tecnología Sostenible. Plaza y Valdes. Pp 25-38.

Giovanetti, M., Sbrana, C. 1998. Meeting a non host: the behavior of AM fungi). Mycorrhiza, 8:123-130.

Graham, J.H., 2001. What do root pathogens see in mycorrhizas? New Phytol. 149:357-359.

Kaya, C. Higges, D., Kimak, H. Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus*) grown under well-watered and water-stressed conditions. Plant Soil 253:287-292.

Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Aydemir, S., Tuna. A. L., Cullu, M. A., 2009. The influence of arbuscular mycorrhizal colonisation on key growth parameters and fruit yield of pepper plants grown at high salinity. Scientia Horticulturae 121:1-6.

Khalil, S., Loynachan, T., Tabatabai, M. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient-uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. Agronomy Journal 86:949-958

- Khalil, G., García, R.E., Ferrera-Cerrato, R., Aguilar, L.A., Larqué, S.M., 1998. La micorriza y materia orgánica como componentes del control biológico de *Fusarium oxysporum* en tomate. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 16:79-83.
- López, L. P. 1989. El chile de agua (*Capsicum annum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Publicación especial No.2. Oaxaca, Mexico.
- López, L. P., 2002. Manual para la identificación de las enfermedades postcosecha de los productos: chile, limón, mango, melón, papaya, sandía y tomate, en los estados de Oaxaca, Guerrero. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México. 150p.
- Martin, A. C., Stutz, C. J., 2004. Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *capsicum annum* L. *Mycorrhiza* 14:241-244.
- Martínez, T. E. 2013. Inoculación de calabacita verdura con cepas de hongos micorrízicos arbusculares.- Tesis de Maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo
- Requena, N. 2007. Plant signals and fungal perceptions during arbuscular mycorrhizal establishment. *Phytochemistry*, 68:33-40.
- Schüßler A. Walker C. 2010. The Glomeromycota. A species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Edinburgh, The royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich and Oregon State University. Obtenido de www.amf-phylogeny.com el 19 de mayo del 2011.
- Schroeder, M. S., Janos, D.P. 2005. Plant growth, phosphorus nutrition, and root morphological responses to arbuscular mycorrhizas, phosphorus fertilization and intraspecific density. *Mycorrhiza* 15: 203-216.. H. 20

- Shah, G. H. 2011. Hongos endomicorrizicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero. Tesis de maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo.
- Shama, M.P., Adholeya, A., 2000. Enhanced growth and productivity following inoculation with indigenous AM fungi in four varieties of onion (*Allium cepa* L.) in an alfisol. Biol. Agr. Hort. 18:1-14.
- Sheng, P., Liu, R., Li, M. 2012. Inoculation with an Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Intercropping with Pepper can Improve Soil Quality and Watermelon Crop Performance in a System Managed by Monoculture. American-Eurasian Journal Agricultural and Environment Science. 12 (I): 1462-1468.
- Sieverding, E. El papel de las micorrizas en la agricultura. Suelos ecuatoriales. 16(1) 52-59.
- Sreenivasa, M.N. 1992. Selection of an efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus for chilli (*Capsicum annum* L.) Scientia Horticulturae 50:53-58-
- Sreenivasa, M. N., Krishnaraj, P.U., Gangadhara, G. A., Manjunathaiah, H. M. 1993. Response of Chilli (*Capsicum annum* L.) to the inoculation of an efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Scientia Horticulturae 53: 45-52.
- Udaiyan, K., Karthikeyan, A., Muthukumar, T. 1996. Influence of edaphic and climatic factor on dynamics of root colonization and spore density of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in *Acacia farnesiana* Willd and *A. planifrons* W. et.A. Mycorrhiza 11:65-71.
- Van der Heijden, M.. 1998. Different arbuscular mycorrhizal species are potential determinants of plant community structure. Ecology 2(12) 2082-2091.
- Vasquez, S. 2005. Fisiotecnia, bromatología y contenido de capsaicinoides en chile de agua (*Capsicum annum* L.) Tesis Profesional. Universidad autónoma Chapingo.

- Vierheiling, H. 2004. Regulatory mechanisms during the plant-arbuscular mycorrhizal fungus interaction, *Canadian Journal of Botany*, 82:1166-1176.
- Virgen,S. 2006. Rentabilidad y mercadeo de la producción de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) bajo invernadero en el municipio de Ayoquezco de Aldama, Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad autónoma Chapingo.
- Votsaka, M., Jansa, J., Regvar, M., Sramek, F., Malcoma, R. 1999. Inoculation with micorrhizal fungi a feasible biotechnology for horticulture. *Annual. Review Botanical*. 39:219-224.