



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN
INVERNADERO CON NUTRICIÓN SUPLEMENTADA CON
MICORRIZAS**

**TESIS:
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

PRESENTA:

ALDO GERMAÍN BEH MIS



CHAPINGO, MÉXICO, FEBRERO DE 2015

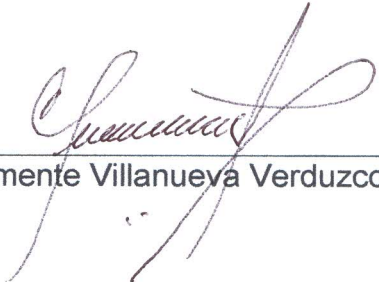


**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES**

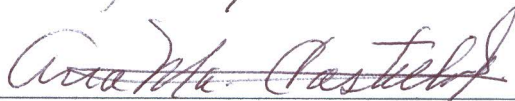


Tesis realizada por el Ing. Aldo Germaín Beh Mis, titulada "Chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en invernadero con nutrición suplementada con micorrizas", bajo la dirección del Dr. Clemente Villanueva Verduzco, la cual ha sido revisada y aprobada por el siguiente comité asesor.

Director de tesis:


Dr. Clemente Villanueva Verduzco

Asesor:


Dra. Ana María Castillo González

Asesor:


Dr. Mario Pérez Grajales

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido alcanzar una meta más en la vida.

A mi Alma Mater la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Fitotecnia y al Instituto de Horticultura, por brindarme los conocimientos en mi formación académica profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de mis estudios de Maestría.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco, por sus consejos, paciencia, apoyo, dirección y por creer en este trabajo.

A la Dra. Ana María Castillo González y al Dr. Mario Pérez Grajales por sus aportaciones hacia el enriquecimiento del presente trabajo.

Al Sr. Maximino Ramírez Ayala por su ayuda brindada y aportaciones en el seguimiento de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP Campus Valle de México), por permitirme desarrollar parte de este trabajo.

A todos los que de alguna manera contribuyeron para alcanzar este trabajo de investigación.

¡Muchas Gracias!

DEDICATORIA

A mis padres Eleazar Beh Noh y Etelia Honorina Mis Herrera, porque son el motor para poder superarme; por todo su apoyo y consejos brindados, siempre encaminados para hacer de mí una persona de bien.

A mis hermanos: Liani, Georgina, Silvia, Eleazar, Anahí y Saraí, por su amor fraternal, siendo una parte fundamental en mi desarrollo profesional.

A mis abuelos Margarito, Etelia, Adriana y †Benjamín, por estar siempre al pendiente de mi bienestar.

A todos mis tíos y primos que han hecho que nuestra Familia sea sólida, y en la que su apoyo nunca me hizo falta.

A mis amigos infaltables Andrea y Juan Javier, por su preocupación, apoyo y consejos brindados todo el tiempo.

A mis amigos de la Maestría: Martha, Alma, Evelia, Sandra, Estela, Lupita, Paty, José Luis, Pastor, Pablo y Gerardo, por esos dos años bien vividos.

A todos los amigos que hice en esta Universidad, especialmente a José Ismael, Miguel Ángel, José Alfredo y Yamir, por hacerme pasar momentos agradables con su compañía, y por todas las experiencias vividas.

A mis amigos del trabajo: Rogelio, Haas, Lili, Didi, Hugo, Azaf, Nidia y Adriana, por su valioso apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Índice de cuadros.....	iv
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo	3
1.2. Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El Cultivo de chile habanero	4
2.1.1. Origen y distribución	4
2.1.2. Clasificación taxonómica	4
2.1.3. Generalidades	5
2.1.3.1. Planta	5
2.1.3.2. Flor	5
2.1.3.3. Fruto	6
2.1.3.4. Semilla.....	7
2.1.3.5. Pungencia	7
2.1.4. Importancia del cultivo a nivel nacional	8
2.1.5. Especies cultivadas de chile habanero	9
2.2. Los elementos minerales esenciales	10

2.3.	Nutrición del cultivo de chile habanero	11
2.4.	Niveles de referencia de una buena nutrición	12
2.4.1.	El estudio de absorción de nutrimentos	12
2.5.	Efectos y beneficios de la composta	14
2.6.	Micorriza	15
2.6.1.	Definición	15
2.6.2.	Tipos de Micorrizas	16
2.6.2.1.	Endomicorrizas	17
2.6.2.1.1.	Arbusculares	17
2.6.3.	Taxonomía	18
2.6.4.	Ventajas y beneficios de las micorrizas	19
2.6.5.	Estudios realizados con micorrizas arbusculares	21
2.6.6.	Porcentaje de colonización micorrízica	22
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1.	Localización del experimento	24
3.2.	Materiales	24
3.2.1.	Variedades	24
3.2.2.	Micorrizas	25
3.3.	Establecimiento de las camas	26
3.4.	Siembra y trasplante	27
3.5.	Unidad y diseño experimental y de tratamientos evaluados ...	27

3.6.	Inoculación al trasplante	28
3.7.	Caracteres evaluados	29
3.8.	Determinación del porcentaje de colonización (endomycorrizas)	30
3.9.	Fertilización y riego	31
3.10.	Análisis estadístico	31
3.10.1.	Análisis de varianza	32
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Análisis de varianza	33
4.2.	Comparación de medias de tratamientos	36
4.3.	Comparaciones de medias de variedades y micorriza	40
4.3.1.	Niveles del factor Variedad	40
4.3.1.1.	Rendimiento por hectárea y sus componentes	40
4.3.1.2.	Calidad y sus componentes	42
4.3.1.3.	Porte de planta	43
4.3.2.	Niveles del factor Micorriza	44
4.3.2.1.	Rendimiento por hectárea y sus componentes	44
4.3.2.2.	Calidad de fruto y sus componentes	46
4.3.2.3.	Porte de planta	48
4.4.	Porcentaje de colonización micorrízica	49
4.5.	Análisis gráfico de la interacción Variedad x Micorriza	51

4.5.1. Análisis gráfico rendimiento y sus componentes	51
4.6. Correlaciones entre variables	56
4.6.1. Rendimiento y sus componentes	56
4.6.2. Calidad y sus componentes	57
5. CONCLUSIONES	59
6. BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Principales países productores de chile en el mundo en el año 2012.....	9
Cuadro 2. Requerimiento diario de N, P, K, para el cultivo de chile habanero.....	11
Cuadro 3. Distribución de los tratamientos en las Unidades Experimentales.....	28
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para cuatro caracteres de chile habanero (Rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponia con micorrizas y composta en invernadero, Chapingo. 2013.	34
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco caracteres de chile habanero (Calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero, Chapingo 2013....	35
Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para tres caracteres de chile habanero (características de la planta) cultivada en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero, Chapingo 2013.....	36
Cuadro 7. Comparaciones múltiples de medias de tres caracteres de chile habanero para RHA, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	38
Cuadro 8. Comparaciones múltiples de medias de cinco caracteres de chile habanero relacionados con Calidad, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	39
Cuadro 9. Comparaciones múltiples de medias de tres caracteres de chile habanero relacionados con tamaño de planta, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013...	40
Cuadro 10. Comparaciones de medias de variedades para RHA rendimiento y sus componentes de chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	42

Cuadro 11. Comparaciones de medias del factor variedad para calidad de fruto y sus componentes del chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	43
Cuadro 12. Comparaciones de medias del factor variedad para porte de planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	44
Cuadro 13. Comparaciones de medias del factor micorriza para RHA y sus componentes en la planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	45
Cuadro 14. Comparaciones de medias del factor micorriza para calidad de fruto y sus componentes del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	47
Cuadro 15. Comparaciones de medias del factor micorriza para porte de planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	49
Cuadro 16. Porcentaje de colonización de la micorriza por tratamiento en combinación cepa x variedad de chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	50
Cuadro 17. Correlaciones del rendimiento, y sus componentes con otros caracteres del cultivo de chile habanero cultivada en hidroponía más micorrizas en invernadero. Chapingo 2013.....	57
Cuadro 18. Correlaciones de calidad y sus componentes con otros caracteres del cultivo de chile habanero cultivada en hidroponía más micorrizas en invernadero. Chapingo. 2013.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de micorrizas y simbiontes implicados en la formación de las mismas. Se presenta en azul el desarrollo del micelio en cada tipo de micorriza.....	16
Figura 2. Comportamiento de las micorrizas sobre las variedades de chile habanero con base en el rendimiento por hectárea promedio (RHA) de chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	51
Figura 3. Rendimiento de fruto por hectárea (RHA) de las cuatro variedades y cuatro micorrizas en chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	51
Figura 4. Efecto de la interacción de los factores variedad y micorriza sobre el rendimiento de fruto por hectárea del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	52
Figura 5. Impacto del peso del fruto (PFR) sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.....	53
Figura 6. Impacto del número de frutos por planta (NFR) sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	54
Figura 7. Colonización de micorrizas sobre el rendimiento por hectárea (RHA) sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.....	55

CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) EN INVERNADERO CON NUTRICIÓN SUPLEMENTADA CON MICORRIZAS

GREENHOUSE HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* Jacq.) NUTRITION SUPPLEMENTED WITH MYCORRHIZAE

Aldo Germaín **Beh Mis**¹ y Clemente **Villanueva Verduzco**²

Resumen

Se realizó un experimento en la Universidad Autónoma Chapingo con el fin de determinar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos sobre el rendimiento y calidad de cuatro variedades de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivadas en invernadero en hidroponía y con nutrición suplementada con micorrizas, utilizando un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial con cuatro repeticiones (4x3; variedades x cepas, más cuatro testigos sin micorriza: uno por variedad). Las camas se prepararon con tezontle como sustrato más una capa de composta. Las plantas se transplantaron a las camas impregnando el cepellón de las plántulas con el producto micorrízico. El análisis de varianza presentó diferencias significativas entre tratamientos y entre los niveles del factor Variedad para las variables rendimiento por hectárea, número de frutos por planta y peso por fruto; y en el factor Micorriza para la variable número de frutos por planta y rendimiento por hectárea. La variedad CHIC presentó el rendimiento más alto (RHA; 25.415 t.ha⁻¹), seguido por BALAM (RHA; 19.136 t.ha⁻¹). INIFAP fue la cepa que influyó más en el incremento del rendimiento, con una diferencia respecto al testigo de 3.266 t.ha⁻¹, esta cepa fue la que obtuvo el mayor porcentaje de colonización (83.4 %). La colonización influyó de forma directa sobre el rendimiento del chile habanero.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: colonización micorrizica, biofertilizante, simbiosis, micorrizas arbusculares.

Abstract

An experiment was conducted at the Universidad Autonoma Chapingo in order to determine the effect of inoculation with mycorrhizal fungi on yield and quality of four varieties of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under greenhouse hydroponics and nutrition supplemented with mycorrhizae. The experimental design was randomized complete blocks with four replications, using a factorial arrangement (4x3, varieties x strains, plus four controls without mycorrhizae: one for each variety). The seedbeds were made with "tezontle" (red volcanic sand) as a substrate and a layer of compost. The analysis of variance showed significant differences between treatments and between levels of the factor variety for the variables yield per hectare, number of fruits per plant and fruit weight, and of the factor mycorrhizae for the variable number of fruits per plant and yield per hectare. The CHIC variety had the highest yield (RHA; 25.415 t ha⁻¹) followed by BALAM. The INIFAP strain was best for increasing yield, with a difference of 3.266 t ha⁻¹ relative to the control. In addition, this strain was the one that scored the highest percentage of colonization (83.4%), which had a direct effect on the performance of habanero pepper.

ADDITIONAL KEYWORDS: mycorrhizal colonization, biofertilizer, symbiosis, fertilization, arbuscular mycorrhizal.

¹Tesista de Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

²Director de Tesis. Profesor – Investigador. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. México.

1. INTRODUCCIÓN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.), es famoso por ser una de las especies más picosas en el mundo, por los altos contenidos de capsaicina que posee.

México es el país con mayor diversidad genética de chile (*Capsicum*), pero no el mayor productor, en el 2009 ocupó el segundo lugar por debajo de China. En México su cultivo se ubica principalmente en el sureste. El estado de Yucatán es el principal productor, seguido por los estados de Tabasco, Campeche y Quintana Roo (SIAP, 2012). La superficie cultivada ha ido en decremento en los últimos años. El bajo nivel tecnológico y el uso de variedades criollas son las limitantes principales (Borges, 2006), aunadas a la incidencia de plagas y enfermedades, e insuficiente control de la nutrición y el riego.

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas que se establecen entre plantas y hongos del suelo. Probablemente se trate del tipo de simbiosis más extendido en la biosfera, ya que entorno al 90 % de las plantas terrestres son capaces de establecer algún tipo de micorrizas (Smith & Read, 1997). El hongo ayuda a la planta a absorber nutrientes minerales del suelo y a cambio la planta le cede al hongo compuestos carbonados derivados de la fotosíntesis. El mantenimiento de esta asociación simbiótica se debe principalmente al papel crucial que el hongo desempeña en la nutrición mineral de la planta colonizada (Redecker *et al.* 2000). Sin embargo, el papel de las micorrizas no solo se limita a mejorar la nutrición mineral de las plantas, sino que también contribuyen a la

protección de las mismas frente a patógenos del suelo y a una mayor tolerancia frente a estreses abióticos (salino, hídrico o debido a la presencia de metales pesados) (Van Tichelen *et al.* 2001; Azcón-Aguilar *et al.* 2002; Ruiz-Lozano 2003).

Un sistema agrícola sostenible ideal, es aquel que produce alimentos suficientes y de calidad para la población mundial, mejora la salud humana y beneficia al ambiente (Shankar *et al.*, 2011). Dicha sostenibilidad tiene como punto clave la menor dependencia a los fertilizantes y productos químicos, como los plaguicidas, por lo que el uso de microorganismos con múltiples beneficios sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, encamina al manejo integral de cultivos, buscando el equilibrio idóneo entre sustentabilidad y rentabilidad (Olalde y Aguilera, 1998), asumiendo además que el mundo enfrenta un enorme reto para satisfacer las necesidades de consumo alimenticio cada vez mayor, con escasas extensiones de tierras cultivables (Xavier y Boyetchko, 2002).

Con el presente trabajo se pretende identificar el rendimiento potencial y la mejor calidad que se puede alcanzar en cuatro variedades de chile habanero, en invernadero, empleando como suplemento micorrizas e hidroponía, como un complemento en el sistema de producción.

Objetivo

Determinar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos sobre el rendimiento y calidad de cuatro variedades de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivadas en invernadero en hidroponía y con nutrición suplementada con micorrizas.

Hipótesis

Las micorrizas formuladas en tezontle en combinación con composta colonizan eficientemente las raíces, mejoran la absorción de nutrimentos, provocan un mayor desarrollo de la planta, un incremento de la producción y mejora la calidad de los frutos de chile habanero cultivado en hidroponía en invernadero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Cultivo de chile habanero

2.1.1. Origen y distribución

Diversos estudios han definido como centro de origen del género *Capsicum* a una gran área ubicada entre el sur de Brasil y el este de Bolivia, el oeste de Paraguay y el norte de Argentina. En esta región se observa la mayor distribución de especies silvestres en el mundo (Ruiz-Lau, *et al.*, 2011). Soria *et al.*, 2002, citan que Laborde indicó desde 1982 que probablemente el *C. chinense* era originario de América del Sur, de donde fue introducido a Cuba, aunque en la isla no se siembra ni se consume. Ramírez (2003) cree que probablemente el *C. chinense* fue introducido a la península de Yucatán desde Cuba, ya que se tenía mayor comercio con la isla, lo que podría explicar su nombre popular de habanero.

2.1.2. Clasificación taxonómica

Reino	Vegetal
Subreino	Embriophyta
División	Angiospermae
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Ranunculidae

Orden	Solanales
Familia	<i>Solanáceae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>chinense</i>
Nombre común	Chile habanero

2.1.3. Generalidades

2.1.3.1. Planta

La planta de chile habanero posee una raíz principal de tipo pivotante, la cual se profundiza de 0.20 a 0.60 m, con raíces secundarias extendidas que varían en longitud dependiendo del tipo de suelo. En condiciones de cultivo de cielo abierto, la planta tiene un hábito de crecimiento intermedio con una altura que puede variar de 0.40 a 1.0 m. No obstante, cuando se cultiva en condiciones protegidas (invernadero o casa sombra), su altura puede rebasar 1.5 m. Las hojas son de color verde oscuro brillante, de forma oval y, dependiendo del manejo del cultivo, en ocasiones pueden alcanzar hasta 15 cm de largo por 10 cm de ancho; el margen normalmente ondulado es una característica distintiva de *C. chinense* (González, *et al.*, 2010).

2.1.3.2. Flor

Las flores son blancas y generalmente pentámeras con estambres fusionados y un solo ovario (González, *et al.*, 2010). Varios autores señalan que el chile

habanero presenta de tres a cuatro flores en cada axila; siendo ésta la característica que lo diferencia de la especie *C. annuum*, que por lo general solo presenta una o dos flores por axila (Piña-Razo, 1982). Las flores son hermafroditas y frecuentemente se presentan con cinco sépalos, cinco pétalos y seis estambres. El ovario es súpero, frecuentemente tri o tetralocular y el estigma usualmente se encuentra a nivel de las anteras lo cual facilita la auto polinización (Guenkov, 1974, citado por Ramírez, 2003).

2.1.3.3. Fruto

El fruto es una baya poco carnosa y hueca; tiene entre tres y cuatro lóbulos, las semillas se alojan en las placentas. Las plantas presentan en promedio hasta seis frutos por axila, estos son de un tamaño entre dos y seis centímetros. El color es verde cuando son tiernos, y cuando están maduros pueden ser anaranjados, amarillos, rojos o cafés y su sabor siempre es picante, aunque el grado de picor depende del cultivar. El color del fruto del chile habanero maduro está determinado principalmente por la presencia de dos tipos de pigmentos: los carotenoides y las antocianinas. La combinación en diferentes proporciones de estos pigmentos en el fruto, da lugar a los diferentes colores que se aprecian en las variedades cultivadas de Chile habanero (DOF, 2010, mencionado por Tucuch, 2010). Todos los frutos de *C. chinense* tienen el mismo olor característico, independientemente del color de maduración (Ochoa, 2001).

La caracterización morfológica del fruto de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) mostró que el fruto principal ocasionalmente contiene un pequeño fruto

interno, aquí denominado “small internal fruit” (SIF). La morfología SIF fue normal, pues tiene pericarpio, dos lóculos y reminiscencias de óvulos unidos a una región parecida a la placenta (Carballo, *et al.*, 2010).

2.1.3.4. Semilla

Las semillas son lisas y pequeñas, con testa de color café claro a oscuro (Ruiz-Lau, 2011). El peso de 1000 semillas varía de 6 a 8 gramos. Por fruto se puede encontrar entre 20 y 50 semillas, factor relacionado directamente con las condiciones ambientales en que se desarrolla el cultivo (Trujillo, 2005).

2.1.3.5. Pungencia

Entre la gran diversidad del género *Capsicum*, el chile habanero (*C. chinense* Jacq.) se ha convertido en un símbolo y ejemplo en pungencia, debido a su más alto contenido de capsaicina encontrado en el fruto (Laborde y Pozo, 1984). La importancia de los capsaicinoides se debe a que además de proporcionar el sabor picante, son utilizados por la industria farmacéutica (Salazar-Olivo y Silva-Ortega, 2004), de armas, tabacalera, cosmética, de pinturas, entre otras como ingrediente activo en diversos productos. De acuerdo a Harvell y Bosland (1979), los niveles de escozor en el chile están determinados por dos factores: los genéticos de la planta y los que interactúan con el medio ambiente.

La capsaicina, concretamente se trata de un protoalcaloide, cuya fórmula empírica es $C_{18}H_{27}O_3N$, siendo un producto de condensación del ácido decilénico y de la 3-hidroxi-4 metoxi benzalamida. En la actualidad se sabe que la

capsaicina no es un compuesto simple, sino que se trata de una mezcla de varias amidas, comúnmente conocidas con el nombre de capsaicinoides, siendo la capsaicina la más importante entre ellas (Nuez *et al.*, 2003; Vallejo y Estrada, 2004). El chile posee este protoalcaloide como parte de su mecanismo de protección ante depredadores, característica desarrollada por muchas otras plantas (Vallejo y Estrada, 2004). El contenido de capsaicina es mayor en la placenta y en el septo, en donde representa un 2.5 % de la materia seca, mientras que el contenido medio del fruto es del 0.6 %, el de las semillas del 0.7 % y el del pericarpio del 0.03 % (Nuez *et al.*, 2003, Ibave *et al.*, 2007).

2.1.4. Importancia del cultivo a nivel nacional

El chile habanero presenta una gran demanda en su exportación. El estado que más siembra es Yucatán, con un promedio de 500 hectáreas y en México se logran producciones de hasta 30 toneladas por hectárea. Tan sólo en 2007 se obtuvo un monto de 90 millones de pesos por la exportación de este producto en la península de Yucatán; su precio llega a alcanzar hasta 100 pesos el kilogramo; durante el 2008 se mantuvo en un precio promedio de 37.48 por kilogramo (Santoyo, 2010).

Cuadro 1. Principales países productores de chile en el mundo en el año 2012.

Región	Producción
China, Continental	16,000,000
México	2,378,736
Turquía	2,072,132
Indonesia	1,656,615
Estados Unidos de América	1,064,800

FAOSTAT, 2012

2.1.5. Especies cultivadas de chile habanero

Chile Habanero Anaranjado. El habanero color naranja presenta un peso fresco promedio de 5.3 g y un peso seco promedio de 0.63 g. El contenido de capsaicina de la placenta del habanero naranja puede variar de 35.7 mg/g peso seco (PS) a 53.4 mg/g PS y de 29.7 mg/g PS a 50.7 mg/g PS de dihidrocapsaicina, con contenidos promedio de 44.5 mg/g PS y 40.2 mg/g PS, respectivamente.

Chile Habanero Rojo. Las características vegetativas de la planta de chile habanero rojo son similares a las descritas para el chile habanero anaranjado; antes de que presenten frutos maduros son prácticamente indistinguibles. El fruto tiene la forma de un pequeño trompo redondo que varía de 2 a 6 cm de largo x 2 a 4 cm de ancho. Es de color verde cuando está tierno y de color rojo al madurar. Promedia un peso fresco de 7.4 g y un peso seco de 0.86 g. El contenido de capsaicina de la placenta puede variar de 29.8 mg/g PS a 55.6 mg/g PS y de 16.8 a 27.3 mg/g PS de dihidrocapsaicina, con contenidos promedio de 40.8 mg/g PS y 20.81 mg/g PS, respectivamente.

2.2. Los elementos minerales esenciales para las plantas

En 1939, Arnon y Stout definieron las características para considerar un elemento esencial para una planta:

- Su ausencia no debe permitir completar el ciclo vital.
- Debe tener al menos una clara y determinada función fisiológica no realizable por otro elemento.
- Debe formar parte de una molécula esencial o debe ser requerido para una reacción enzimática.

Hay 16 elementos que han sido identificados como esenciales (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl) para el crecimiento y desarrollo normal de todas las plantas. Estos 16 elementos se dividen en dos grupos: macronutrientes (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl).

Los elementos esenciales se pueden clasificar según:

- La concentración en la planta (Epstein, 1994):
 - Macronutrientes (>0.1%): H, C, O, N, K, Ca, Mg, P, S, Si (solo en algunas especies).
 - Micronutrientes (<0.1%): Cl, Fe, B, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo, Na (solo en algunas especies).
- La función bioquímica o biológica (Menguel y Kirby, 1987):
 - Elementos formadores de compuestos orgánicos: N, S.
 - Elementos relacionados con la conservación de energía y/o compuestos estructurales: P, B, Si.
 - Elementos que permanecen como iones: K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl.

- Elementos involucrados en reacciones redox: Fe, Cu, Zn, Mo, Ni.
- La movilidad y translocación en la planta:
 - Elementos móviles: N, K, Mg, P, Cl, Na, Zn, Mo.
 - Elementos inmóviles: Ca, S, Fe, B, Cu.

2.3. Nutrición del cultivo de chile habanero

Cuadro 2. Requerimiento diario de N, P, K, para el cultivo de chile habanero.

Días después del trasplante	Requerimiento diario (mg.pL ⁻¹)		
	N	P	K
1 – 8	20.7	11.88	0.00
9 – 19	27.9	15.84	13.11
20 – 26	41.4	21.38	19.09
27 – 38	54.9	25.96	22.41
39 – 52	64.0	27.76	41.09
53 – 68	72.1	19.40	63.58
69 – 77	83.3	14.26	82.25
78 – 90	79.7	15.44	78.52
91 – 100	74.3	16.24	93.46
101 – 112	63.0	11.88	67.31
113 – 135	45.0	8.14	44.82
136 – 156	36.0	6.34	37.35
Total	662.3	194.52	562.99

Fuente: Medina, 1984

2.4. Niveles de referencia de una buena nutrición

2.4.1. El estudio de absorción de nutrimentos

El estudio de la absorción de nutrimentos permite establecer las bases de la fertilización de los cultivos; de esta manera, la fertilización puede ser ajustada al ciclo del cultivo y por consecuencia, optimizar la cantidad de fertilizante a utilizar; evitar el deterioro de los suelos y disminuir el impacto de la fertilización en el ambiente. La mayor eficiencia de los nutrimentos aplicados al suelo para la producción de cultivos se basa fundamentalmente en la posibilidad de aplicarlos según la demanda de la planta (Volke *et al.*, 1997; Terry, 2008, mencionado por Noh, *et al.* 2010).

Noh, *et al.*, 2010, determinó el contenido de nutrimentos en tejido seco y extracto celular en chile habanero. En el tejido, a excepción del Ca cuyo contenido aumentó con la edad de la planta, los contenidos de N, P, K, Mg, Cu, Fe y Mn disminuyeron. Sin embargo, en la dinámica del Zn se observó una respuesta diferente ya que mostró un incremento al finalizar el ciclo del cultivo. En el caso de N y P a medida que aumentó la edad de la planta, se redujo la concentración en el tejido. El orden de contenido de nutrimentos mayores fue $N > K > Ca > Mg > P$ ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) para las cuatro etapas de desarrollo evaluadas al cultivo. En cuanto a los nutrimentos menores el orden de contenido fue: $Fe > Zn > Mn > Cu$ ($\text{mg} \cdot \text{planta}^{-1}$) para las cuatro etapas evaluadas (Noh, *et al.*, 2010).

Por otra parte, en el extracto celular, los contenidos de NO_3 , PO_4 y Ca aumentaron con la edad de la planta; mientras que los de K, Cu y Mn

disminuyeron. En contraste, los de Mg, Fe y Zn en los tres primeros muestreos se observó un incremento, pero al final del ciclo del cultivo estos declinaron. El K mostró ser el nutrimento de mayor concentración en el extracto celular ($7,069 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) es probable que esto se deba a que el K es el catión más abundante en citosol en donde participa en un gran número de funciones (Véry and Sentenac, 2003). Después del K, el orden por su contenido fue: $\text{K} > \text{NO}_3 > \text{Mg} > \text{PO}_4 > \text{Ca}$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En cuanto a los nutrimentos menores, su contenido al inicio (73 días de desarrollo) fue $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{Fe}$, este orden no se mantuvo en las etapas intermedia y al finalizar el ciclo del cultivo. La dinámica para Zn, Fe y Mn mostraron un incremento en las primeras etapas de desarrollo que declinaron con la edad de la planta, observándose esto principalmente en Zn.

El mayor incremento en la acumulación del nitrógeno, en general para las especies del *Capsicum*, se da a partir del inicio de la fructificación.

Borges, *et al.*, 2008, utilizaron el modelo: Suministro del Suelo y Demanda Nutricional (Soil Supply and Nutrient Demand “SSAND”), para predecir los requerimientos de K del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) en quince suelos de Yucatán, de acuerdo al potencial del suelo para suministrar K, y a la capacidad de las raíces para absorber el mismo. SSAND es un modelo mecanístico que simula el desarrollo del cultivo para diagnosticar limitaciones de nutrición y determinar los regímenes de fertilización necesarios para alcanzar las metas de producción. Su ejecución se basa en las teorías de difusión y de flujo de masas del nutrimento en el suelo, en las características de la raíz y en la

cinética de absorción de los nutrientes. De acuerdo a las metas de producción propuestas ($28 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fruto fresco), los resultados mostraron que los suelos requieren una aplicación de 108 a $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de K. El momento oportuno de aplicación resultó ser fundamental para que el nutriente sea absorbido por la planta. En algunos suelos se requirió que la mayor cantidad de K sea aplicada durante la etapa de crecimiento de la planta, para otros, el modelo sugirió que la incorporación de K debe ser dosificada durante todo el ciclo de cultivo. Las diferencias se atribuyen a las características de los suelos de retener el K agregado y su posterior liberación a la solución del suelo para que éste sea absorbido por la planta.

Borges, *et al.*, 2008, determinaron los niveles críticos de fósforo mediante el procedimiento gráfico y el método estadístico. La magnitud de la respuesta al P estuvo en función de la disponibilidad inicial de este elemento en el suelo. El método que mejor correlacionó la disponibilidad de P con el rendimiento fue el Olsen ($r=0.801$) y el nivel crítico fue $11.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de suelo utilizando el método gráfico. Concluye que en suelos con concentraciones menores al nivel crítico de P, la probabilidad de una respuesta económica a la adición de fertilizantes es alta.

2.5. Efectos y beneficios de la composta

El uso de sustratos orgánicos ha cobrado gran importancia por diversas razones. Desde el punto de vista económico, su uso se ha fomentado por la agricultura orgánica, ya que es una respuesta a la mejora en las prácticas agrícolas (Nieto

et al., 2002). Dentro de los sustratos orgánicos sobresalen la composta y la vermicomposta, debido a que sus procesos de elaboración son métodos biológicos que transforman restos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable (Claassen & Carey 2004). Los beneficios de los abonos orgánicos son evidentes, la composta ha mejorado las características de los suelos, tales como fertilidad, capacidad de almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio, mantiene valores óptimos de pH para el crecimiento de las plantas y fomenta la actividad microbiana (Nieto *et al.*, 2002) y como sustrato para cultivos en invernadero que no contamina el ambiente (Rodríguez *et al.*, 2008). De los principales elementos nutritivos presentes en las compostas, del 70 al 80% de fósforo y del 80 al 90% de potasio están disponibles el primer año (Eghball *et al.*, 2000). Mientras que el nitrógeno debe de mineralizarse para ser absorbido por la planta (Heeb *et al.*, 2005), durante el primer año solo se mineraliza el 11% del nitrógeno (Márquez *et al.*, 2008).

2.6. Micorriza

2.6.1. Definición

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas que se establecen entre las plantas y hongos del suelo. Probablemente se trate del tipo de simbiosis más extendido en la biósfera, ya que entorno al 90% de las plantas terrestres son capaces de establecer algún tipo de micorrizas (Smith & Read 1997). El hongo ayuda a la planta a absorber nutrientes minerales del suelo y a cambio la planta le cede al hongo compuestos carbonados derivados de la fotosíntesis. El papel de las micorrizas no solo se limita a mejorar la nutrición mineral de las plantas,

sino que también contribuyen a la protección de las mismas frente a patógenos del suelo y a una mayor tolerancia frente a estreses abióticos (salino, hídrico o debido a la presencia de metales pesados) (Van Tichelen *et al.*, 2001; Azcón *et al.*, 2002; Ruíz, 2003).

2.6.2. Tipos de Micorrizas

Con base en su estructura y al tipo de plantas y hongos implicados, las micorrizas se clasifican en tres grandes grupos: ectomicorrizas, endomicorrizas y ectendomicorrizas. Para el presente trabajo nos enfocamos en las Endomicorrizas.

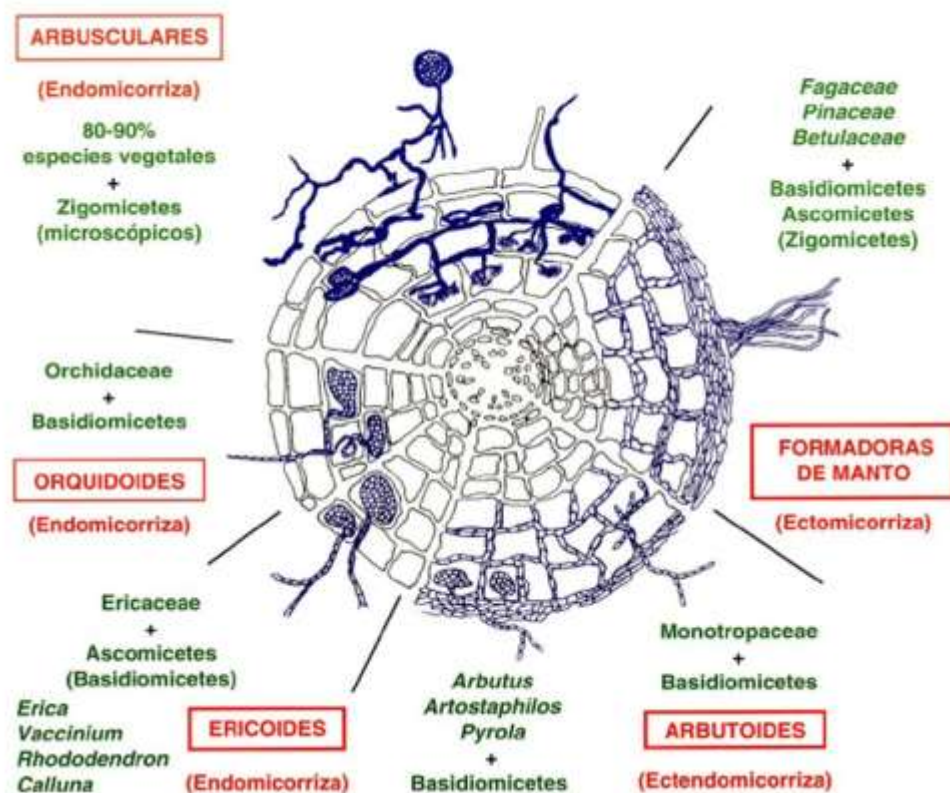


Figura 1. Tipos de micorrizas y simbiontes implicados en la formación de las mismas. Se presenta en azul el desarrollo del micelio en cada tipo de micorriza.

2.6.2.1. Endomicorrizas

Se caracterizan porque no forman manto y las hifas penetran en las células de la epidermis y/o del cortex de la raíz. Estas son las más frecuentes en la naturaleza y dentro de ellas se distinguen tres tipos: Orquidoides, Ericoides y Arbusculares.

2.6.2.1.1. Arbusculares

Las micorrizas arbusculares las forman entre el 80 y 85% de todas las plantas terrestres (Smith & Read 1997) y los hongos del phylum Glomeromycota (Schubler *et al.*, 2001). El hongo es capaz de penetrar las células del córtex de la raíz, en las que se ramifica dicotómicamente de forma repetida para dar lugar a los arbuscúlos, estructuras típicas de la colonización de estos hongos. Antes se conocían también como vesículo-arbusculares, con base en unas estructuras globosas, las vesículas, que contienen sustancias de reserva y que forman algunas especies de hongos micorrícicos en el interior de la raíz. Sin embargo, dado que no todas las especies de hongos micorrícicos son capaces de formar vesículas, ese término ha caído bastante en desuso.

Los hongos MA se han considerado simbióticos obligados, es decir no pueden completar su ciclo de vida, sin establecer simbiosis con la raíz de una planta, sin embargo conforme se conoce más de la diversidad de estos organismos, lo anterior puede ser una generalización ya que hay especies de las cuales aún se desconoce su nutrición. Los hongos producen esporas o clamidosporas que son células reproductoras producidas asexualmente, que permiten la dispersión y

supervivencia por largo tiempo en condiciones adversas y que se podrían “comparar” con las semillas que producen las plantas. Son la parte más conspicua de estos hongos, no son visibles a simple vista se requiere de un microscopio para su observación. La producción de esporas de estos hongos puede ser individualmente en el suelo, en el interior de las raíces de la planta hospedera, o formando densas masas no estructuradas o bien en esporocarpos en o cerca de la superficie del suelo (Reyes, 2011).

2.6.3. Taxonomía

Morton y Benny (1990), propusieron una clasificación para este tipo de micorrizas, considerando los caracteres de mayor importancia fisiológica en su ciclo de vida y tomando en cuenta también caracteres que se pudieran interpretar evolutivamente, lo que significó agrupar los taxa que estén relacionados por su descendencia a partir de un ancestro común, para organizar una clasificación natural. Es por eso que propusieron colocar a los hongos endomicorrízicos en un nuevo orden: Glomales; dos nuevos subórdenes: *Glomineae* y *Gigasporineae* y dos nuevas familias: *Acaulosporaceae* y *Gigasporaceae* además de la familia *Glomaceae* propuesta por Pirozynski y Dalpé (1989), de modo que la ubicación taxonómica de estos organismos es: división: Eumycota, subdivisión: Zygomycotina, clase: Zygomycetes, orden: Glomales, dos subórdenes: Glomineae con dos familias: Glomaceae (género: *Glomus*) y Acaulosporaceae (géneros: *Acaulospora* y *Entrophospora*) y Gigasporineae con una sola familia: Gigasporaceae (géneros: *Gigaspora* y *Scutellospora*).

2.6.4. Ventajas y beneficios de las micorrizas

La función de las micorrizas radica en las interacciones múltiples entre los hongos, las plantas, el suelo, la microfauna y microflora y el ambiente circundante (Blanco, 1997).

Nutrición vegetal. La nutrición mineral en relación a las micorrizas arbusculares es uno de los aspectos más estudiados de la simbiosis, debido a la importancia que esta tiene en el desarrollo vegetal, con implicaciones en áreas tan diversas como la nutrición humana, la agricultura sostenible o la biodiversidad de los ecosistemas terrestres.

Fue a mediados del siglo pasado cuando empezó a cobrar interés el estudio de las causas del mejor crecimiento de las plantas micorrizadas. El primer trabajo sobre el tema señalaba cómo el manzano micorrizado presentaba un mayor contenido de Fe y Cu que el no micorrizado cuando crecía en suelos deficientes en estos micronutrientes (Mosse, 1957). Posteriormente, se puso de manifiesto que los hongos formadores de micorrizas arbusculares mejoran también la absorción de fósforo por la planta (Gerdemann, 1964). Las causas de la mejora de la nutrición pueden ser múltiples:

- Las hifas del hongo son capaces de explorar un mayor volumen de suelo que las propias raíces, por lo que aumentan la capacidad de absorción de nutrientes, especialmente aquellos que difunden con dificultad en la solución del suelo, lo que condiciona la formación de zonas de deficiencia alrededor de la raíz (Sanders & Tinker, 1973).

- Por su tamaño, las hifas son capaces de competir mucho mejor con otros microorganismos del suelo por nutrientes (Linderman, 1992).
- Se ha postulado que los transportadores de los hongos micorrícicos presentan una mayor afinidad por su sustrato que los de la planta (Cress *et al.* 1979).
- La posibilidad de absorber fuentes de nutrientes no disponibles para la propia planta (Swaminathan, 1979).

Las micorrizas ayudan a la absorción de iones que se difunden lentamente o están presentes en bajas concentraciones en el suelo, como es el caso de P, NH₄, K, Zn y Cu, entre otros. Se ha comprobado que nutrimentos como Zn, Cu, B y Mo son tomados activamente por las hifas de los hongos MA y transportados a la planta hospedera. Igualmente, otros microelementos esenciales para la planta como Fe y Mn, generalmente se encuentran en mayores concentraciones en las plantas micorrizadas.

Tras la colonización de las raíces hospederas, estas toman los nutrientes minerales del suelo y las intercambian con las plantas para la fotosíntesis (Smith y Read, 2008), lo que aumenta la resistencia de las plantas a estreses bióticos y abióticos (Augé, 2004; Whipps, 2004; Zhu y Yao, 2004; Göhre y Paszkowski, 2006. Mencionado por Wang, 2011). También juegan un papel importante en la formación y la estabilidad de los agregados del suelo y contribuyen en la fertilidad y calidad del suelo (Wright y Upadhyaya, 1998).

2.6.5. Estudios realizados con micorrizas arbusculares

Varios estudios eco-fisiológicos han demostrado que la simbiosis con micorrizas arbusculares genera tasas alteradas de movimiento de agua dentro, a través y fuera de las plantas hospedantes, con los consiguientes efectos en la hidratación del tejido y la fisiología de las plantas. Actualmente se acepta que la contribución de las micorrizas arbusculares a la tolerancia a la sequía es el resultado de los efectos físicos, nutricionales, fisiológicos y celulares acumulativos. Esta crítica considera varios aspectos que deben ser investigados a nivel molecular con el fin de lograr un entendimiento completo de los diferentes mecanismos por los que la simbiosis protege las plantas huésped contra los efectos perjudiciales de déficit hídrico (Ruíz, 2002).

Schenk y Gashaw, 2008, realizaron un estudio en cebolla (*Allium cepa*) para determinar la absorción de fósforo en el suelo, emplearon tratamientos con micorriza arbuscular y sin micorriza, y con niveles diferentes de fertilización fosfórica. En el nivel más alto de fertilización, las raíces y las hifas tuvieron un porcentaje de absorción similar, sin embargo, en el nivel más bajo de fertilización, las hifas representaron casi toda la absorción de P.

En una visión general, el NH_4 es la fuente más importante de N mineral para los microorganismos, mientras que NO_3 es más importante para las plantas (Stitt *et al.*, 2002). Los hongos micorrícicos ayudan a las plantas en la absorción de N, y el NH_4 es la forma preferida de N mineral, por lo menos para algunos hongos micorrícicos (Hawkins *et al.*, 2000, mencionado por González, 2005).

Se llevó a cabo un estudio en invernadero para determinar los efectos del aumento de las concentraciones de sal de las soluciones (NaCl) aplicadas al suelo a las plantas micorrizadas y no micorrizadas de las especies leguminosas *Strophostyles helvola*. Las altas concentraciones de sal tienen un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas de *S. helvola*, pero los efectos negativos fueron parcialmente mitigados por la presencia de hongos micorrízicos.

Montero-San José et al., 2009, encontró que el uso de cepas micorrízicas *Glomus hoilike* y *Glomus mosseae* y dosis de riego de 65-90% de capacidad de campo en el cultivo de chile pimienta, incrementan considerablemente los rendimientos, generando una relación beneficio-coste de 1.82. Las bacterias de la rizósfera pueden generar efectos sinérgicos con hongos en el crecimiento de la planta y principalmente en la absorción de P. Al parecer existe un cierto grado de especificidad entre algunas bacterias de la rizósfera y hongos formadores de micorrizas (Osorio-Vega, 2007).

2.6.6. Porcentaje de colonización micorrízica

Este proceso inicia con la exposición de las raíces en una solución de KOH (10 %), expuesta a calor (a ebullición o en olla de presión a 10 lb) durante 10 minutos, repitiendo este paso hasta obtener la raíz libre de pigmentos (taninos, polifenoles). Posteriormente, las raíces son enjuagadas con agua corriente para después exponerlas a agua oxigenada comercial durante 10-15 minutos.

Las raíces se enjuagan nuevamente y se adiciona una solución de HCl (10 %) durante 10 - 15 minutos. Pasado este tiempo 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). Las raíces se exponen a calor (a ebullición o en olla de presión a 10 lb), durante 10 minutos, para facilitar su tinción. Una vez teñidas las raíces, éstas se cortan en segmentos de 1.5 centímetros de largo (procurando que sean las raíces más finas) y se colocan en forma paralela sobre un portaobjetos con unas gotas de lactoglicerol. En cada portaobjetos se montan 12 segmentos de raíz y finalmente, se les coloca un cubreobjetos, quedando la preparación lista para su observación al microscopio óptico a objetivo de inmersión 40x. El porcentaje de colonización se determinará de acuerdo al número de raíces que presenten alguna estructura de los hongos micorrícicos. Cada raíz del portaobjeto representa el 8.3% del total de la muestra. Por lo tanto, para obtener un 100% de colonización debe haber colonización en los 12 segmentos de raíz.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en un invernadero en el Campo Agrícola Experimental “Xaltepa” de la Universidad Autónoma Chapingo, éste se encuentra ubicado a 2,250 msnm, a 19° 29’ de latitud norte y 98° 53’ longitud oeste. 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. El invernadero tiene doble apertura cenital para una mejor ventilación. La presente investigación se llevó a cabo, durante el periodo comprendido del 01 de febrero al 20 de diciembre de 2013.

3.2. Materiales

3.2.1. Variedades

BALAM®. Balam es un habanero híbrido vigoroso con una planta fuerte. El fruto madura a los 150 días con una medida de 1.5 – 2 pulgadas (4 - 5 centímetros) de largo, forma típica de habanero y buena uniformidad. El fruto madura de verde a amarillo - anaranjado, aromático y con 200,000 Scoville. Balam demuestra alta adaptabilidad, además presenta resistencia observada al Virus del Mosaico del Pepino (CMV).

CHIC. Esta se obtuvo del mercado de la localidad de Chiconcuac, Estado de México, la razón de dicha selección fue su gran tamaño respecto a los que normalmente se comercializan. El fruto alcanza un promedio de 7 cm de largo, es de color rojo.

H-591. Esta es una variedad que se comercializa en el estado de Yucatán, la cual tiene un color anaranjado, considerado como el de mayor demanda por el mercado de dicho estado, además de tener el tamaño promedio del chile que se comercializa.

COBO. Es una variedad que madura en color rojo, con una forma acampanada, poco común en los chiles habaneros. Sin embargo, por su color suele emplearse en la industria.

3.2.2. Micorrizas

Hortic Plus® (HP). Utiliza esporas de cuatro especies de hongos vesículo-arbusculares (*Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices*, *Entrophospora columbiana*), mínimo 7,268 esporas por kg; también contiene propágulos vegetativos, fragmentos de micelio o de raíces, utiliza como substrato extractos de *Yucca shidigera* y algas marinas (*Ascophylum 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. Está formulado también con cepas de seis especies de bacterias benéficas, fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras del crecimiento radical: *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans* con una cantidad de 1.8×10^7 unidades formadoras de colonias de cada bacteria benéfica por kg de producto.

VAM•PWI (PWI). Es un inoculante de hongos endomicorrícicos soluble en agua. Cada libra de PHC VAM•PWI contiene 252,000 esporas de cepas seleccionadas de cuatro diferentes especies de hongos endomicorrícicos (*Entrophospora columbiana*, *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum* y *Glomus intraradices*).

INIFAP. Biofertilizante a base de bacterias y hongos. Entre los hongos se utiliza a la micorriza del género *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* como bacteria.

3.3. Establecimiento de las camas

Las camas fueron de 30 cm de profundidad y 120 cm de ancho, con tezontle como sustrato. Sin embargo, se colocó una capa de composta de aproximadamente 5 cm de espesor a una profundidad de 10 cm de la cama, después se cubrió con el tezontle hasta llenar la cama. Se colocaron dos cintas de riego por cama con emisores cada 10 cm; al final la cama fue cubierta con un acolchado de color gris por fuera y negro por dentro.

3.4. Siembra y trasplante

La siembra se realizó el 26 de marzo de 2013. Se sembraron dos charolas de poliestireno de 200 cavidades por variedad, con sustrato peat moss, colocando una semilla por cavidad; posteriormente las charolas fueron envueltas con un plástico para acelerar la germinación durante tres días. A los 50 días se transplantaron en las camas, colocando una planta cada 50 cm, impregnando la micorriza en el cepellón; se establecieron dos surcos por cama a una distancia de 50 cm entre ambos.

3.5. Unidad y diseño experimental y de tratamientos

El experimento se llevó a cabo bajo un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial con cuatro repeticiones (4x3; variedades x cepas, más cuatro testigos sin micorriza: uno por variedad). La Unidad Experimental fue de dos surcos de 2.5 metros, cada uno con cinco plantas separadas a 50 cm, y una distancia entre surcos de 40 cm. En total se tuvieron 16 tratamientos.

Diseño Experimental. Bloques Completos al Azar; 16 tratamientos, 4 repeticiones.

Unidad Experimental. 2 surcos de 2.5 metros, con 5 plantas por surco separadas a 50 cm cada una, y una distancia entre surcos de 40 cm.

Superficie del experimento. 268.8 m² (4 camas de 42 m de largo por 1.2 m de ancho, con pasillos de 40 cm).

Cuadro 3. Distribución de los tratamientos en las Unidades Experimentales.

Tratamiento	Genealogía	Origen	Repeticiones			
			I	II	III	IV
1	CHIC + INIFAP	Comercial	116	204	304	406
2	CHIC + HP	Comercial	108	214	306	401
3	CHIC + PWI	Comercial	103	206	310	408
4	CHIC + S/M	Comercial	111	203	303	416
5	H-591 + INIFAP	Comercial	101	205	313	410
6	H-591 + HP	Comercial	107	209	307	404
7	H-591 + PWI	Comercial	110	210	309	402
8	H-591 + S/M	Comercial	104	202	308	415
9	BALAM + INIFAP	Comercial	105	201	316	403
10	BALAM + HP	Comercial	112	215	311	407
11	BALAM + PWI	Comercial	114	213	302	412
12	BALAM + S/M	Comercial	109	208	301	414
13	COBO + INIFAP	Comercial	102	212	305	405
14	COBO + HP	Comercial	115	216	314	409
15	COBO + PWI	Comercial	113	207	312	411
16	COBO + S/M	Comercial	106	211	315	413

Variedades: CHIC, H-591, BALAM, COBO.

Micorrizas: INIFAP, HP, PWI.

S/M: (Sin Micorriza).

3.6. Inoculación al trasplante

La aplicación al trasplante, es el método más recomendado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos (Alarcón *et al.*, 2004). En el caso de hongos micorrízicos arbusculares, la aplicación directa del inóculo en el sustrato, en el agujero donde se trasplantaran las plántulas y sobre su sistema radical, permite a los hongos mayor probabilidad de establecerse y expresar sus beneficios en corto tiempo (de uno a cuatro meses, dependiendo de la especie, hortalizas, forestal o frutal de que se trate). En función de la calidad del inóculo (cantidad y viabilidad de propágulos contenidos) se puede aplicar desde 1 a 15 g de inóculo por planta (Alarcón *et al.*, 2004).

3.7. Caracteres evaluados

Número de frutos por planta (NFR; g). Total de frutos cosechados por parcela, divididos entre el número de plantas por parcela.

Número de frutos totales (NFT). Total de frutos obtenidos en todas las unidades experimentales por tratamiento.

Número de frutos de primera calidad (NF1). Total de frutos obtenidos en todas las unidades experimentales por tratamiento igual o mayor a 2 cm de largo.

Número de frutos de segunda calidad (NF2). Total de frutos obtenidos en todas las unidades experimentales por tratamiento, menores a 2 cm de largo.

Rendimiento por hectárea (RHA; t.ha⁻¹). Se obtuvieron los pesos de los frutos de todos los cortes realizados y se expresó en toneladas por hectárea, al considerar una densidad de población de 33,333 plantas por hectárea.

Ancho y largo de fruto (ANF, LAF; cm). Se estimó el promedio en centímetros del ancho y largo de los frutos.

Vigor (VIG; cm). Punto medio del entrenudo inferior a la primera 'Y' del tallo.

Altura a primera bifurcación (ALY; cm). Longitud promedio (cm) de la base del tallo a la primera bifurcación.

Peso por fruto (PFR; g). Peso promedio de los frutos (g) de todos los cortes realizados.

Colonización de micorriza (COL). Observación y cuantificación microscópica en raíces especialmente preparadas mediante tinción empleando el método propuesto por Phillips y Haymann (1970).

3.8. Determinación del porcentaje de colonización (endomicorrizas)

Los métodos sistemáticos conllevan el seguimiento de procesos bien definidos que permiten evaluar cuantitativamente la colonización fúngica en la raíz con mayor precisión.

En el caso de la micorriza arbuscular, con este tipo de métodos se cuantifica la intensidad de la colonización y el tipo de estructuras presentes (hifas, arbusculos, vesículas) por cada segmento de raíz evaluado.

El procedimiento utilizado se basa en aquel que fue propuesto por Phillips y Haymann (1970).

La determinación del porcentaje de colonización se basa en la observación microscópica de segmentos de raíz teñidos y en ellos, contabilizar aquellos que

presentan estructuras fúngicas (hifas, arbuscúlos y vesículas), a la vez de contabilizar los segmentos no colonizados. El porcentaje de colonización total se determina dividiendo el número de segmentos de raíz colonizados por cualquier estructura fúngica, entre el número de segmentos totales observados (suma de los segmentos colonizados y los segmentos no colonizados), multiplicado por 100:

$$\% \text{ Colonización} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados (Hifas, arbuscúlos o vesículas)}}{\text{Número de segmentos totales observados}} \times 100$$

3.9. Fertilización y riego

Se empleó la fórmula de fertilización 200-50-100 en el sustrato, el fósforo y potasio se aplicaron a las dos semanas después del trasplante, mientras que el nitrógeno se aplicó en dos partes, la primera junto con los fertilizantes antes mencionados y la segunda dos semanas después. También se realizó una fertilización foliar mensual a base de micronutrientes. Semanalmente se aplicaba solución nutritiva universal de Steiner. Se aplicaban de dos a tres riegos diarios de 30 minutos de duración.

3.10. Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANAVA), pruebas de comparaciones múltiples de medias (Tukey) y correlaciones, mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

3.10.1. Análisis de varianza

El experimento fue un factorial, donde los tratamientos se diseñaron como combinaciones de cuatro niveles del factor micorriza (VAM PWI, HORTIC PLUS, INIFAP y Sin Micorriza) y cuatro niveles de variedades (Balam, Chic, H-591 y Cobo).

El modelo experimental fue: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_j + V_k + M_l + (V \times M)_{ij} + \epsilon_{ijk}$

Donde:

Y_{ijkl} = respuesta en la i-ésima tratamiento, j-ésima bloque, k-ésima nivel del factor variedad, l-ésima nivel del factor micorriza.

μ = media general del experimento, en cada variable.

B_j = Efecto del j-ésimo bloque.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

V_k = Efecto del k-ésimo nivel del factor variedad.

M_l = Efecto del l-ésimo nivel del factor micorriza.

$(V \times M)_{ij}$ = Interacción del i-ésimo nivel de variedad por el j-ésimo nivel de micorriza.

ϵ_{ijk} = Error experimental asociado a la observación ijk.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y entre los niveles del factor Variedad (V) para las variables rendimiento por hectárea (RHA; $t.ha^{-1}$), número de frutos por planta (NFR) y peso por fruto (PFR; g), y en el factor Micorriza (M) para la variable número de frutos por planta (NFR). También existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos y entre los niveles del factor Micorriza para las variables rendimiento por hectárea (RHA; $t.ha^{-1}$). Todo esto indica que existió al menos un tratamiento y un nivel estadísticamente superior de variedad y de micorriza diferente para las variables antes mencionadas (Cuadro 4).

La interacción variedad x micorriza (V x M) también resultó significativa para las variables rendimiento por hectárea (RHA; $t.ha^{-1}$) y número de frutos por planta (NFR) (Cuadro 4); Número de Frutos de Primera Calidad (NF1) y Largo de Fruto (LAF) (Cuadro 5); indicando que las variedades se comportan diferente a través de los cepas de micorrizas para las variables mencionadas. La interacción V x M resultó altamente significativa para las variables.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para cuatro caracteres de chile habanero (Rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponia con micorrizas y composta en invernadero, Chapingo. 2013.

FV	GL	RHA (t.ha ⁻¹)	NFR	PFR (g)
V	3	1039.17**	15117.36**	31.63**
M	3	37.20*	1109.47**	0.55ns
V x M	9	26.54*	519.75*	0.53ns
BLO	1	2.91	514.25	0.16
ERROR	47	11.94	223.66	0.42
TOTAL	63	228.88	3590.69	6.77
CV%	-	20.12	20.29	9.42
$\bar{x}$	-	17.18	73.68	6.91
R ₂	-	0.86	0.84	0.84

FV: fuente de variación; GL: Grados de libertad; V: variedad; M: micorriza; V x M: Interacción variedad x micorriza; Blo: bloques; CV: coeficiente de variación; $\bar{x}$: Media general del experimento; R₂: coeficiente de determinación; RHA: rendimiento por hectárea (t.ha⁻¹); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso de fruto (g). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$); *: Significativo ($p \leq 0.05$).

Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y entre los niveles del factor Variedad para las variables Número de Frutos Totales (NFT), Número de Frutos de Primera Calidad (NF1), Número de Frutos de Segunda Calidad (NF2), Largo de Fruto (LAF) y Ancho de Fruto (ANF); y en el factor Micorriza para las variables Número de Frutos Totales (NFT), Número de Frutos de Primera Calidad (NF1), Número de Frutos de Segunda Calidad (NF2). También existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos y entre los niveles del factor Micorriza (M) para la variable Largo de Fruto (LAF). Todo esto indica que hubo al menos un tratamiento y un nivel estadísticamente superior de variedad y de micorriza diferente para las variables antes mencionadas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para cinco caracteres de chile habanero (Calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero, Chapingo 2013.

FV	GL	NFT	NF1	NF2	LAF (cm)	ANF (cm)
V	3	1606149.099**	1475439.792**	421970.807**	11.03**	1.38**
M	3	101516.224**	71547.542**	10053.266**	0.12	0.03ns
V*M	9	40021.960ns	33549.000**	4820.043	0.13**	0.02ns
BLO	1	22831.903ns	12979.513ns	1381.953ns	0.00007ns	0.008ns
ERROR	47	19796.401	12385.095	2294.240	0.036	0.012
TOTAL	63	363922.996	322127.752	86096.4	2.20	0.288
CV%	-	19.52	21.76	22.85	4.17	3.699
$\bar{x}$	-	720.79	511.25	209.5469	4.55	3.019
R_2	-	0.855	0.894	0.925	0.95	0.882

FV: fuente de variación; GL: Grados de libertad; V: variedad; M: micorriza; V x M: Interacción variedad x micorriza; Blo: bloques; CV: coeficiente de variación; $\bar{x}$: Media general del experimento; R_2 : coeficiente de determinación; NFT: Número de Frutos Total; NF1: Número de Frutos Total de Primera Calidad; NF2: Número de Frutos Total de Segunda Calidad; LAF: largo de fruto (cm); ANF: ancho de fruto (cm); **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

Existieron diferencias altamente significativas para el factor variedad para las variables altura de planta (ALP; cm), vigor de la planta (VIG; cm) y altura a la primera bifurcación (ALY; cm). En cambio, para el factor micorriza no se presentaron diferencias significativas, esto indica que las micorrizas influyeron de manera similar sobre la respuesta de la planta a las variables ALP, VIG y ALY.

El promedio general de tratamientos y repeticiones obtenido en el experimento para el rendimiento por hectárea fue de 17.18 toneladas por hectárea. Un rendimiento superior a la media registrada en la Península de Yucatán (SIAP, 2012).

El coeficiente de variación más alto fue de 20%, lo obtuvieron las variables relacionadas con el rendimiento y calidad del fruto.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para tres caracteres de chile habanero (porte de planta) cultivada en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero, Chapingo 2013.

FV	GL	ALP (cm)	VIG (cm)	ALY (cm)
V	3	9101.386**	1.143**	73.040**
M	3	140.662ns	0.032ns	4.567ns
V*M	9	43.214ns	0.019ns	9.575ns
BLO	1	132.149ns	0.019ns	3.290ns
ERROR	47	66.478	0.017	5.105
TOTAL	63	1831.929	0.250	25.248
CV%	-	7.796	8.121	10.083
$\bar{x}$	-	104.583	1.632	22.408
R ₂	-	0.900	0.818	0.573

FV: fuente de variación; GL: Grados de libertad; V: variedad; M: micorriza; V x M: Interacción variedad x micorriza; Blo: bloques; CV: coeficiente de variación; $\bar{x}$: Media general del experimento; R₂: coeficiente de determinación; ALP: altura de planta (cm); VIG: vigor de planta (cm); ALY: altura a primera bifurcación (cm), ns: no significativo. **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$); *: Significativo ($p \leq 0.05$).

La variable RHA presentó un coeficiente de determinación (R₂) del 86%; las variables número y peso del fruto obtuvieron una R₂ de 84%. Los valores más altos lo tuvieron las variables largo de fruto y altura de planta con 95% y 90%, respectivamente (Cuadros 5 y 6), indicando un alto nivel de precisión con el que el modelo explicó al fenómeno estudiado.

4.2. Comparación de medias de tratamientos

Estadísticamente, el tratamiento 1 (combinación de variedad CHIC + micorriza INIFAP) fue el mejor para la variable rendimiento por hectárea (RHA; 30.405 t.ha⁻¹), superando al resto de tratamientos y a los testigos de las 4 variedades sin

micorriza. El tratamiento 13 (COBO + INIFAP) obtuvo el rendimiento más bajo (RHA; 4.467 t.ha⁻¹), éste último dato es estadísticamente igual a lo obtenido en los tratamientos 14 y 15 que involucran a la misma variedad (COBO), solo que ahora en combinación con las cepas de HP y PWI, respectivamente. Esto muestra que la variedad COBO influye directamente en la obtención de los bajos rendimientos, tal vez por desadaptación. Cabe mencionar que en esta variedad no se obtuvieron buenos resultados con las micorrizas ya que el testigo (SM) superó a los otros tratamientos que si fueron inoculados en ella. El tratamiento más rendidor obtuvo resultados similares al tratamiento con el mayor número de frutos, y no tuvo el mayor peso por fruto pero si se encuentra por arriba de la media. El T3 obtuvo el mayor peso por fruto, sin embargo el número de frutos por planta fue bajo por lo que existió menos competencia entre frutos por los fotosintatos de la planta. En el T5 existió algo similar, hubo un mayor número de frutos por planta pero un bajo peso de fruto, situación que se explica de igual manera por la competencia entre frutos.

La variable peso de fruto (PFR) tuvo su mayor expresión con el tratamiento 3 (CHIC + PWI), pues fue estadísticamente superior a los otros tratamientos; en el otro extremo, el tratamiento 15 (COBO + PWI) mostró el menor peso por fruto, una diferencia de 3.42 g respecto al mejor tratamiento o 60% más pesado.

El número de frutos por planta fue mayor en el tratamiento 5 (H-591 + INIFAP) con 122.13 frutos, pero sin diferencias estadísticas significativas con los tratamientos 1, 2, 6, 7 y 8. El menor número de frutos por planta fue el de los

tratamientos que involucraron a la variedad COBO, con diferencias estadísticamente significativas al resto de los tratamientos. Esto indica que el número de frutos y la variedad influyen directamente en el rendimiento.

Cuadro 7. Comparaciones múltiples de medias de tres caracteres de chile habanero para RHA, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

TRA	V	M	RHA (t.ha ⁻¹)	PFR (g)	NFR
1	CHIC	INIFAP	30.405a	8.017c	113.61ab
2	CHIC	HP	26.142b	8.625b	91.14abc
3	CHIC	PWI	21.412d	9.06a	71.03c
4	CHIC	SM	23.7c	8.552b	83.34bc
5	H-591	INIFAP	21.785cd	5.352h	122.13a
6	H-591	HP	18.445ef	5.455h	101.8abc
7	H-591	PWI	15.96g	5.6h	86.68abc
8	H-591	SM	15.977g	5.562h	86.53abc
9	BALAM	INIFAP	20.565de	7.637cd	80.54bc
10	BALAM	HP	17.802fg	7.332d	73.42c
11	BALAM	PWI	21.342d	7.862c	81.46bc
12	BALAM	SM	16.832fg	7.397d	67.65c
13	COBO	INIFAP	4.467i	5.655fg	23.807d
14	COBO	HP	6.627hi	6.07f	33d
15	COBO	PWI	5.485i	5.64gh	29.07d
16	COBO	SM	7.875h	6.77e	33.78d

TRA: tratamiento; V: variedad; M: micorriza; RHA: rendimiento por hectárea (t.ha⁻¹); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso de fruto (g). Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

Las variables que se relacionan con el tamaño del fruto (largo (LAF) y ancho (ANF)) presentaron el valor más alto con el tratamiento 3 (CHIC + PWI), significativamente diferentes a los otros tratamientos. Los frutos más anchos, también fueron los más largos; y en todos los tratamientos, los mejores niveles de las variables de calidad correspondieron a la variedad CHIC (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparaciones múltiples de medias de cinco caracteres de chile habanero relacionados con Calidad, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

TRAT	VAR	MIC	NFT		NF1		NF2		LAF (cm)	ANF (cm)
1	CHIC	INIFAP	1106	ab	1081	a	25	e	5.322c	3.217cd
2	CHIC	HP	889.25	abc	846.25	ab	43	de	5.562b	3.245bc
3	CHIC	PWI	710.25	c	691.75	bcd	18.50	e	5.905a	3.357 a
4	CHIC	SM	814.75	b c	763.25	bc	51.50	de	5.542b	3.207cd
5	H-591	INIFAP	1221.25	a	757	bc	464.25	a	4.025g	2.635 g
6	H-591	HP	1018	abc	537.25	cd	480.75	a	3.812h	2.62 g
7	H-591	PWI	934.75	abc	537.25	cd	397.50	a	4.15 f	2.637 g
8	H-591	SM	865.25	abc	502.75	cd	362.50	ab	3.745h	2.532 h
9	BALAM	INIFAP	761.25	bc	509.25	cd	252.00	bc	4.705e	3.047 e
10	BALAM	HP	694.25	c	471.50	d	222.75	c	4.782e	3.167 d
11	BALAM	PWI	711.5	c	525.25	cd	186.25	c	4.8 e	3.295ab
12	BALAM	SM	676.5	cd	510.50	cd	166.00	c	5.13 d	3.275bc
13	COBO	INIFAP	226	e	93.750	e	132.25	cde	3.817h	3.022ef
14	COBO	HP	330	de	112.25	e	217.75	c	3.837h	3.075 e
15	COBO	PWI	262.75	e	107.75	e	155	cd	3.807h	3.022ef
16	COBO	SM	311	e	133.25	e	177.75	c	3.827h	2.957 f

TRA: tratamiento; V: variedad; M: micorriza; NFT: Número de Frutos Total; NF1: Número de Frutos de Primera Calidad; NF2: Número de Frutos de Segunda Calidad; LAF: largo de fruto (cm); ANF: ancho de fruto (cm). Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

Los tratamientos con el mejor vigor de planta fueron el 10 (BALAM + HP) y 11 (BALAM + PWI), a su vez, los tratamientos que involucran a la variedad COBO tuvieron el vigor más bajo.

Las plantas con mayor altura fueron las que se encontraron en los tratamientos 1 (ALP; 129.45 cm) y 2 (ALP; 125.35 cm). Los valores de ALP de los tratamientos con la variedad COBO fueron los más bajos y significativamente diferentes a los tratamientos de las otras variedades. Los tratamientos con mayor altura de planta

fueron inoculados con las cepas INIFAP y HP, esto difiere con lo encontrado por Lucas 2011, en la que la inoculación de diversas micorrizas en chile piquín no tuvo diferencias significativas para la altura de planta.

Cuadro 9. Comparaciones múltiples de medias de tres caracteres de chile habanero relacionados con tamaño de planta, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

TRAT	VAR	MIC	VIG (cm)	ALP (cm)	ALY (cm)
1	CHIC	INIFAP	1.495ef	129.45 a	23.577cde
2	CHIC	HP	1.535 e	125.35 a	22.605 ef
3	CHIC	PWI	1.37 gh	113.2 cde	20.345 gh
4	CHIC	SM	1.33 h	119.65 b	18.695 i
5	H-591	INIFAP	1.455ef	112.5 de	25.64 b
6	H-591	HP	1.415 fg	109.7 ef	24.137 cd
7	H-591	PWI	1.44 fg	106.75 f	24.65 bc
8	H-591	SM	1.45 fg	104.6 f	26.00 a
9	BALAM	INIFAP	1.995 b	118.05 bc	22.812def
10	BALAM	HP	2.11 a	119.25 b	23.275cde
11	BALAM	PWI	2.055ab	117.45bcd	23.627cde
12	BALAM	SM	1.85 c	118b c	22.332 ef
13	COBO	INIFAP	1.687 d	73.107 g	19.217 hi
14	COBO	HP	1.622 d	68.25 g	21.575 fg
15	COBO	PWI	1.662 d	69.76 g	18.56 i
16	COBO	SM	1.645 d	68.267 g	21.487 fg

TRA: tratamiento; V: variedad; M: micorriza; ALT: altura de planta (cm); VIG: vigor de planta; ALY: altura a primera bifurcación (cm). Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

4.3. Comparaciones de medias de variedades y micorrizas

4.3.1. Niveles del factor Variedad

4.3.1.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes

Hubo diferencias significativas entre variedades para rendimiento por hectárea (RHA) y sus componentes (PFR y NFR). La variedad CHIC presentó el

rendimiento más alto (RHA; 25.415 t.ha⁻¹) con diferencias altamente significativas con el resto de los tratamientos; le sigue la variedad BALAM (RHA; 19.136 t.ha⁻¹) con una diferencia respecto al mejor de 6.279 t.ha⁻¹. Un factor importante para que CHIC haya alcanzado dicho rendimiento fue el elevado peso de fruto (PFR; 8.56 g), significativamente diferente a las otras variedades. CHIC no tuvo el mayor número de frutos por planta (NFR; 89.779), pero dicho valor no muestra diferencias significativas con la variedad con mayor número de frutos por planta que fue H-591 (NFR; 99.283).

Las variedades H-591 y BALAM no mostraron diferencias significativas en cuanto a rendimiento. H-591 presentó mayor número de frutos (NFR; 99.283), mientras que BALAM obtuvo un mayor peso de fruto (PFR; 7.55 g). Estos dos caracteres fueron determinantes en el rendimiento y cada uno influyó para la obtención de dichos rendimientos.

La variedad COBO obtuvo el rendimiento más bajo y significativamente diferente a las otras variedades; además de obtener el menor número de fruto (NFR; 29.914) y un peso de fruto bajo (PFR; 6.0338 g); esto soporta el impacto que estas variables tienen sobre el rendimiento.

Cuadro 10. Comparaciones de medias de variedades para RHA y sus componentes de chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

FACTOR		RHA (t.ha ⁻¹)	NFR	PFR (g)
Variedad	CHIC	25.415 a	89.779 ab	8.5638 a
	H-591	18.042 b	99.283 a	5.4925 c
	BALAM	19.136 b	75.769 b	7.5575 b
	COBO	6.114 c	29.914 c	6.0338 c
DMS		3.2544	14.083	0.613

RHA: rendimiento por hectárea (t.ha⁻¹); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso de fruto (g). DMS: Diferencia mínima significativa.

4.3.1.2. Calidad y sus componentes

En peso de frutos y el número de frutos por planta, CHIC obtuvo los valores más altos (PFR; 8.5638 g; NFR; 89.779), con un valor similar en el número de frutos de H-591 (NFR; 99.283), con el que no se encontró diferencia significativa. COBO, además de obtener el rendimiento más bajo, obtuvo el menor número de frutos por planta (NFR; 29.914) (Cuadro 11).

La variedad CHIC sobresalió respecto a las otras variedades en las variables de largo y ancho de fruto y altura de planta (LAR: 5.58 cm; ANC: 3.25 cm; ALT: 121.91 cm), este mismo material fue el que obtuvo el mejor rendimiento (RHA; 25.415 t.ha⁻¹) (Cuadro 11). Esta tuvo el mayor número de frutos de primera calidad (845.56) y el menor número de frutos de segunda calidad (34.50), contrario a esto, COBO fue la variedad con el menor número de frutos de primera calidad.

Cuadro 11. Comparaciones de medias del factor variedad para calidad de fruto y sus componentes del chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

FACTOR		NFT	NF1	NF2	LAR (cm)	ANC (cm)
Variedad	CHIC	880.06a	845.56a	34.50c	5.58313a	3.25688a
	H-591	1009.81a	583.56b	426.25a	3.93313c	2.60625c
	BALAM	710.88b	504.13b	206.75b	4.85438b	3.19625a
	COBO	282.44c	111.75c	170.69b	3.8225c	3.01938b
DMS					0.1787	0.1052

LAR: largo de fruto (cm); ANC: ancho de fruto (cm); NFT: Número de Frutos Totales; NF1: Número de Frutos de Primera Calidad; NF2: Número de Frutos de Segunda Calidad; DMS: Diferencia mínima significativa.

4.3.1.3. Porte de planta

La variedad con mayor vigor de planta fue BALAM (VIG: 2.0025 cm), este fue significativamente diferente a las otras variedades, la diferencia radica en que BALAM es un híbrido que es afectado por la heterosis y de acuerdo a Ramírez et al., 2007, este es un fenómeno que ocurre cuando el híbrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento, esto resulta de la interacción de varios factores independientes aportados por los progenitores que participan en la formación de dicho híbrido.

CHIC tuvo la mayor altura de planta (ALT: 121.913 cm) y el menor vigor (VIG: 1.4325 cm). En cambio, BALAM tuvo una altura similar a CHIC (ALT: 118.188 cm) sin diferencias significativas y el mayor vigor de planta (VIG: 2.0025 cm), esto indica que en cuanto al porte de planta, el híbrido BALAM presenta un mejor porte al combinar una buena altura de planta y buen grosor de tallo. COBO fue la de

menor altura de planta (ALT: 69.846 cm) y la menor altura a la primera bifurcación (ALY: 20.21 cm) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparaciones de medias del factor variedad para porte de planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

FACTOR		ALT (cm)	VIG (cm)	ALY (cm)
Variedad	CHIC	121.913 a	1.4325 c	21.3056 bc
	H-591	108.388 b	1.44 c	25.1069 a
	BALAM	118.188 a	2.0025 a	23.0119 ab
	COBO	69.846 c	1.6543 b	20.21 c
DMS		7.67	0.1248	2.1276

ALT: altura de planta (cm); VIG: vigor de planta (grosor de tallo en cm); ALY: altura a primera bifurcación (cm); DMS: Diferencia mínima significativa.

4.3.2. Niveles del factor Micorriza

4.3.2.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes

Los tratamientos con la cepa INIFAP (T1, T5, T9, T13) fueron los mejores en la obtención de mayor rendimiento (rendimiento promedio RHA: 19.306 ton.ha⁻¹) y número de frutos por planta (promedio NFR: 85.019), con resultados similares a los obtenidos con HP (RHA: 17.254 ton.ha⁻¹; NFR: 74.841). En cambio, los tratamientos con las cepas de PWI y el testigo, obtuvieron los valores más bajos para rendimiento (RHA: 16.05 ton.ha⁻¹ y RHA: 16.04 ton.ha⁻¹ respectivamente) y número de frutos (NFR: 67.061 y NFR: 67.824 respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos. En cuanto al peso de fruto, no hubo diferencias significativas entre micorrizas y el testigo. Resultados similares obtuvo López, 2013, al emplear *Glomus mosseae* en chile de agua (*Capsicum annum* L.) y obtener un mejor rendimiento respecto al testigo sin micorriza.

Cuadro 13. Comparaciones de medias del factor micorriza para RHA y sus componentes en la planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

FACTOR		RHA (t.ha ⁻¹)	NFR	PFR (g)
Micorriza	INIFAP	19.306 a	85.019 a	6.6656 a
	HP	17.254 ab	74.841 ab	6.8706 a
	PWI	16.05 b	67.061 b	7.0406 a
	SM	16.048 b	67.824 b	7.0706 a
DMS		3.2544	14.083	0.613

RHA: rendimiento por hectárea (t.ha⁻¹); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso de fruto (g). DMS: Diferencia mínima significativa.

Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Amado *et al.* (2010), quienes encontraron efectos positivos en rendimiento de avena aplicando el biofertilizante INIFAP.

De igual forma, Montero *et al.*, (2009), encontró un incremento en el rendimiento de fruto de chile pimiento usando cepas micorrízicas de las especies *Glomus hoilike* y *Glomus mosseae*.

Se aprecia en el cuadro 13 la importancia de las micorrizas en el rendimiento de la planta como Schenk y Gashaw (2008) demostraron en el cultivo de cebolla, incrementando la absorción de fósforo gracias a las hifas de los hongos micorrícicos; esto aunado a que el fósforo, de acuerdo a Fernandez (2007), constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía.

Otros autores como Aguilera-Gómez *et al.* (1999); Castillo *et al.*, (2007); Davies *et al.*, (2002); Estrada Luna y Davies (2003); Gasca (2004); Manjarrez *et al.*, (1999) y Lucas (2011) obtuvieron incrementos en el rendimiento de chile inoculado con hongos micorrícicos arbusculares.

4.3.2.2. Calidad de fruto y sus componentes

En las variables relacionadas con la calidad del fruto (NF1, NF2, LAR, ANC), el tratamiento con la cepa INIFAP mostró superioridad estadística para el número de frutos de primera calidad (NF1: 610.25) respecto a las otras cepas, superando por 118 frutos a la cepa HP que tuvo el segundo valor más alto (NF1: 491.81); estos resultados obtenidos con HP son similares a los obtenidos por Shah, 2011 en donde la micorriza *Glomus* sp superó al testigo ya que duplicó el rendimiento en calabacita y reflejó la mayor cantidad de frutos de primera calidad, cabe destacar que el autor antes mencionado empleó la micorriza INIFAP en su experimento.

INIFAP tuvo el mayor número de frutos totales (NFT: 828.63), esta misma cepa tuvo el mayor porcentaje de frutos de primera calidad (NF1: 73.64%; NF2: 26.36%), estos resultados no variaron mucho respecto a las otras cepas (HP: 67.106% NF1; PWI: 71.08% NF1 y SM: 71.59% NF1). La cepa PWI fue la que obtuvo el mayor largo y ancho de fruto (LAR: 4.66 cm; ANC: 3.07 cm), estos resultados no influyeron de forma determinante en el rendimiento total ya que el número total de frutos que obtuvo fue el más bajo, y de acuerdo a los resultados obtenidos con la cepa INIFAP, esta tuvo el mayor número de frutos y mayor

rendimiento, por lo que se concluye de que el número de frutos es un factor más determinante que el peso de fruto.

De los tratamientos micorrízicos empleados, solo la cepa INIFAP contiene bacterias del género *Azospirillum* spp. Canto *et al.*, (2004) reportó un incremento de biomasa total y el número de raíces de plántulas de chile habanero empleando cepas de micorrizas que contienen *Azospirillum*, por lo que esta bacteria pudo haber sido una pieza importante en el incremento del rendimiento de chile habanero.

Cuadro 14. Comparaciones de medias del factor micorriza para calidad de fruto y sus componentes del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

FACTOR		NFT	NF1	NF2	LAR (cm)	ANC (cm)
Micorriza	INIFAP	828.63a	610.25a	218.38ab	4.4675b	2.98063a
	HP	732.88ab	491.81b	241.06a	4.49875ab	3.02688a
	PWI	654.81b	465.50b	189.31b	4.66563a	3.07813a
	SM	666.88b	477.44b	189.44b	4.56125ab	2.99313a
DMS					0.1787	0.1052

LAR: largo de fruto (cm); ANC: ancho de fruto (cm); NFT: Número de Frutos Total; NF1: Número de Frutos de Primera Calidad; NF2: Número de Frutos de Segunda Calidad; DMS: Diferencia mínima significativa.

El género *Cápsicum* muestra afinidad por los hongos formadores de micorrizas arbusculares y es el género *Glomus* el que con mayor frecuencia habita la rizósfera del cultivo (Cardona *et al.*, 2008), mismo que forma parte de los productos utilizados en el presente trabajo.

Es importante señalar que no se presentaron problemas de enfermedades en las plantas en todo el ciclo de la planta; Espinoza *et al.*, (2004) usaron hongos micorrízicos y observaron una reducción del daño causado en raíces de chile por *Phytophthora capsici*; además, se ha reportado que las micorrizas son un excelente complemento para la producción sustentable del chile habanero porque se sugiere que tienen sinergismo con otros microorganismos benéficos de la rizósfera (Cardona *et al.*, 2008; Montero-San José, 2008; Osorio-Vega 2007).

4.3.2.3. Porte de planta

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos con micorrizas para las variables relacionadas con el porte de planta (altura de planta, vigor de planta y altura a la primera bifurcación). Aunque cabe señalar que la mayor altura de planta lo obtuvo el tratamiento con INIFAP (ALT: 108.227 cm), con 2.5 cm más que HP que obtuvo la segunda mayor altura de planta (ALT: 105.638 cm); INIFAP fue la que alcanzó el mayor rendimiento de fruto por hectárea (19.306 ton.ha⁻¹). Martínez *et al.*, (2003), encontró resultados similares a los anteriores en colectas de chile piquín, en el que la altura de la planta se incrementó 61 % con el tratamiento con micorrizas (*Glomu sp.*) respecto al testigo.

Cuadro 15. Comparaciones de medias del factor micorriza para porte de planta del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

FACTOR		ALT (cm)	VIG (cm)	ALY (cm)
Micorriza	INIFAP	108.277 a	1.65813 a	22.8119 a
	HP	105.638 a	1.67063 a	22.8981 a
	PWI	101.79 a	1.63188 a	21.7956 a
	SM	102.629 a	1.56875 a	22.1288 a
DMS		7.677	0.1248	2.1276

ALT: altura de planta (cm); VIG: vigor de planta (cm); ALY: altura a primera bifurcación (cm); DMS: Diferencia mínima significativa.

4.4. Porcentaje de colonización micorrízica

Los tratamientos sin micorriza (4, 8, 12, 16) presentaron un porcentaje de colonización menor (50 % o menos), mientras que los tratamientos con micorriza (8 - 14) tuvieron un porcentaje mayor (70 % - 92 %) (Cuadro 16). Este resultado sugiere que los tratamientos sin micorriza probablemente presentaron contaminación por las micorrizas que lo rodearon y la diseminación de las esporas en el sustrato; además de que este resultado también puede sugerir la presencia de micorrizas nativas en el sustrato empleado.

Todos los tratamientos a los que se les aplicó micorrizas promediaron 81.91 % de porcentaje de colonización. El mejor tratamiento para rendimiento (RHA: 19.306 ton.ha⁻¹) fue el de la cepa INIFAP y estuvo directamente asociado al mayor porcentaje promedio de colonización encontrado (84.3 %) (Cuadro 16). Resultados similares a los encontrados por Shah, 2011, en el rendimiento y calidad de calabacita, solo que este alcanzó un 97.3 % para el mejor tratamiento

inoculado vs 8.2 % del testigo sin micorriza. El promedio de colonización micorrízica para el tratamiento testigo fue de 42.6 %, apenas la mitad de aquellos tratamientos micorrizados (81.91 %). En general, la inoculación micorrizica realizada fue eficiente para colonizar la raíz del chile habanero, lo cual se vio reflejado en un alto porcentaje de colonización y en la alta producción de chile habanero por hectárea. La diferencia de rendimiento entre el mejor tratamiento con micorriza (INIFAP) y el más bajo (Sin Micorriza) fue de 3.2 toneladas por hectárea, con un porcentaje de colonización de INIFAP: 84.33 % y SM: 42.67 %.

Cuadro 16. Porcentaje de colonización de la micorriza por tratamiento en combinación cepa x variedad de chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

TRAT	VARIEDAD	MICORRIZA	COLONIZACIÓN
1	CHIC	INIFAP	74.97
2	CHIC	HP	74.97
3	CHIC	PWI	87.5
4	CHIC	SM	45.8
5	H-591	INIFAP	91.6
6	H-591	HP	83.3
7	H-591	PWI	91.6
8	H-591	SM	50
9	BALAM	INIFAP	83.3
10	BALAM	HP	83.3
11	BALAM	PWI	75
12	BALAM	SM	29.1
13	COBO	INIFAP	87.48
14	COBO	HP	70.8
15	COBO	PWI	79.1
16	COBO	SM	45.8
Promedio Con Micorriza			81.91
Promedio Sin Micorriza			42.675

4.5. Análisis gráfico de la interacción Variedad x Micorriza

4.5.1. Análisis gráfico rendimiento y sus componentes

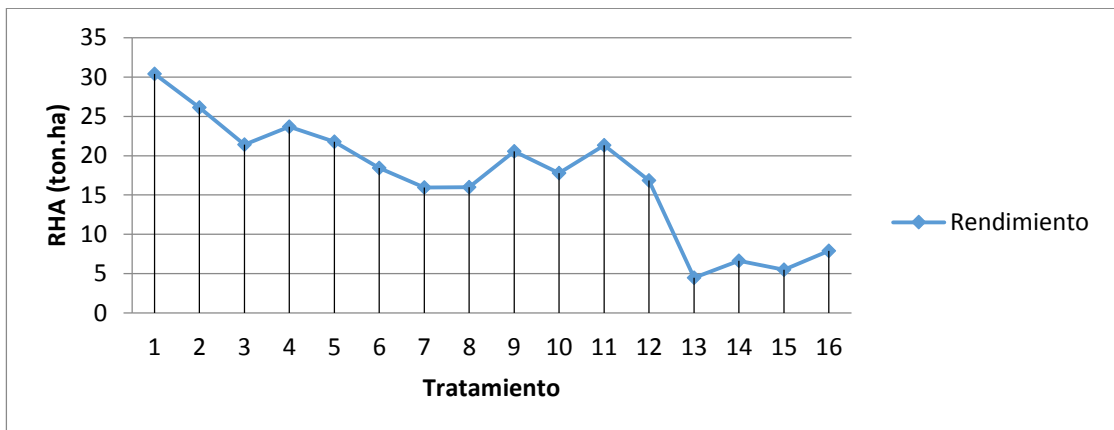


Figura 2. Comportamiento de las micorrizas sobre las variedades de chile habanero con base en el rendimiento por hectárea promedio (RHA) de chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

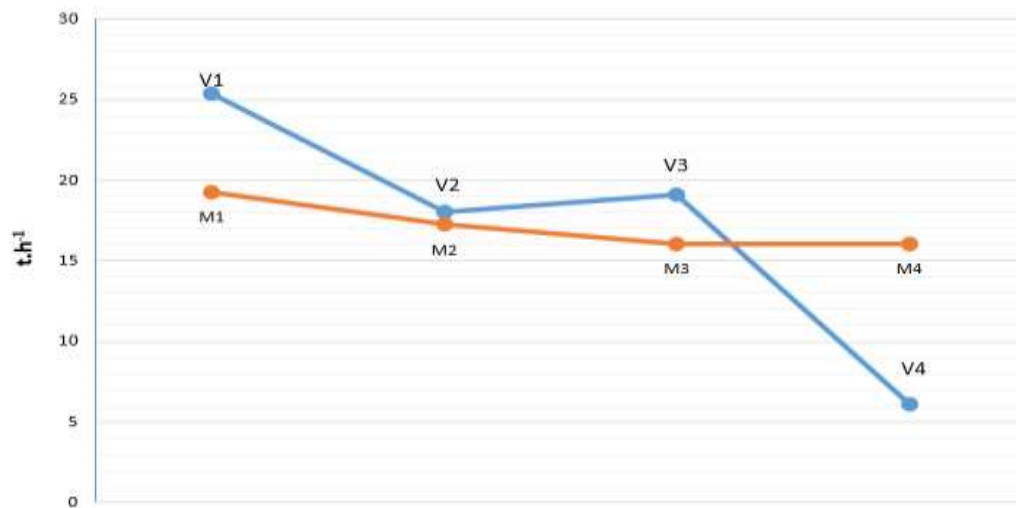


Figura 3. Rendimiento de fruto por hectárea (RHA) de las cuatro variedades y cuatro micorrizas en chile habanero, cultivado en hidroponía con micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

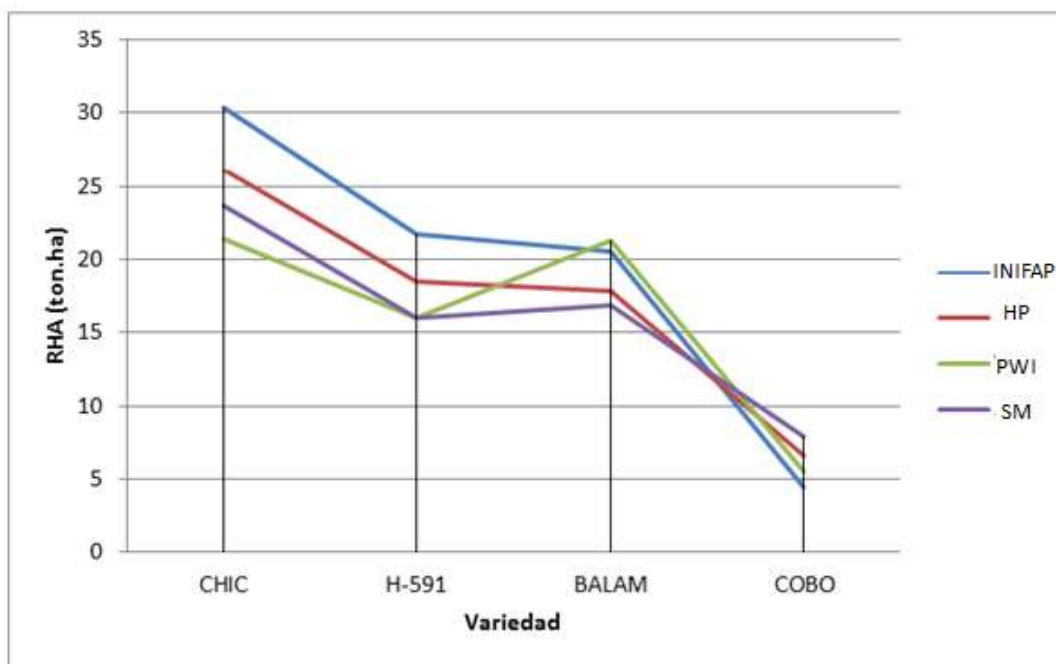


Figura 4. Efecto de la interacción de los factores variedad y micorriza sobre el rendimiento de fruto por hectárea del chile habanero, cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

Tras la comparación múltiple de medias, la combinación de la variedad CHIC + micorriza INIFAP obtuvo el mejor rendimiento con 30.405 toneladas por hectárea. El rendimiento más bajo fue para la variedad COBO con $4.4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, este no tuvo diferencias significativas con los otros tratamientos de esta misma variedad COBO. La cepa INIFAP tuvo el rendimiento más alto en las variedades CHIC ($30.405 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) y H-591 ($21.785 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Los tratamientos Sin Micorriza obtuvieron los rendimientos más bajos en dos variedades: H-591 (RHA: $15.97 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) y BALAM (RHA: $16.83 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$); aunque obtuvo el rendimiento más alto (sin diferencia significativa) en la variedad que mostró los rendimientos más bajos (COBO, RHA: 7.875). La cepa PWI fue la menos

rendidora en la variedad CHIC (RHA: 21.41 t.h⁻¹), pero fue la que más sobresalió en la variedad BALAM (21.34 t.h⁻¹).

Por su parte, la cepa HP fue la que registró la mejor estabilidad a través de las cuatro variedades.

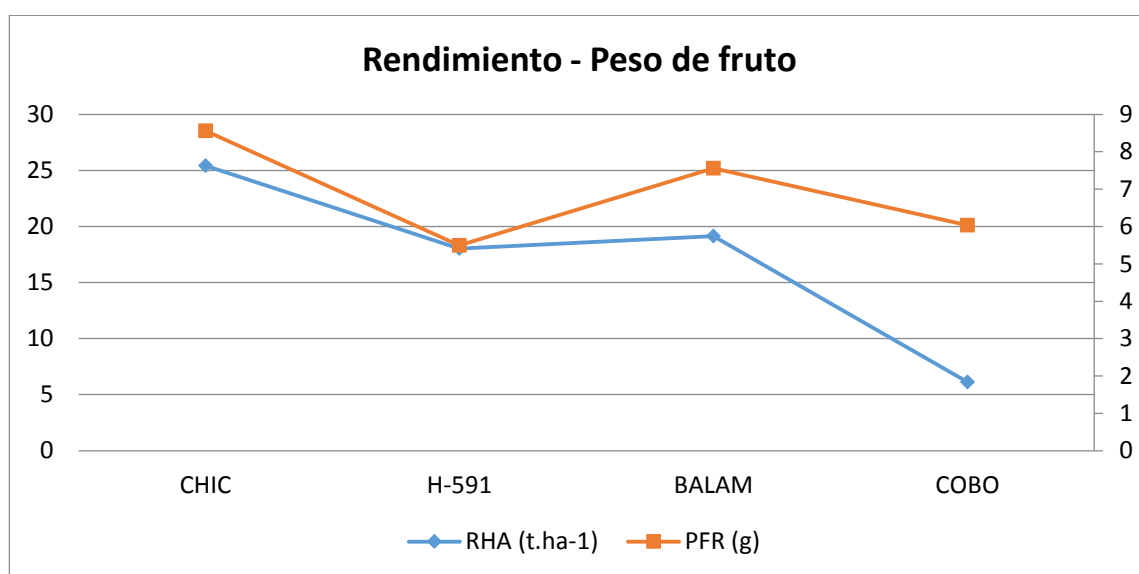


Figura 5. Impacto del peso del fruto (PFR) sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo. 2013.

La figura 5 muestra la correlación positiva existente entre el peso de fruto y el rendimiento por hectárea. CHIC tuvo el mejor peso de fruto (PFR; 8.56 g) y el mejor rendimiento por hectárea (RHA; 25.41 t.h⁻¹). Sin embargo, la variedad COBO que tuvo el tercer mejor peso de fruto (PFR; 6.03 g) y el rendimiento más bajo de las cuatro variedades (RHA; 6.11 t.h⁻¹).

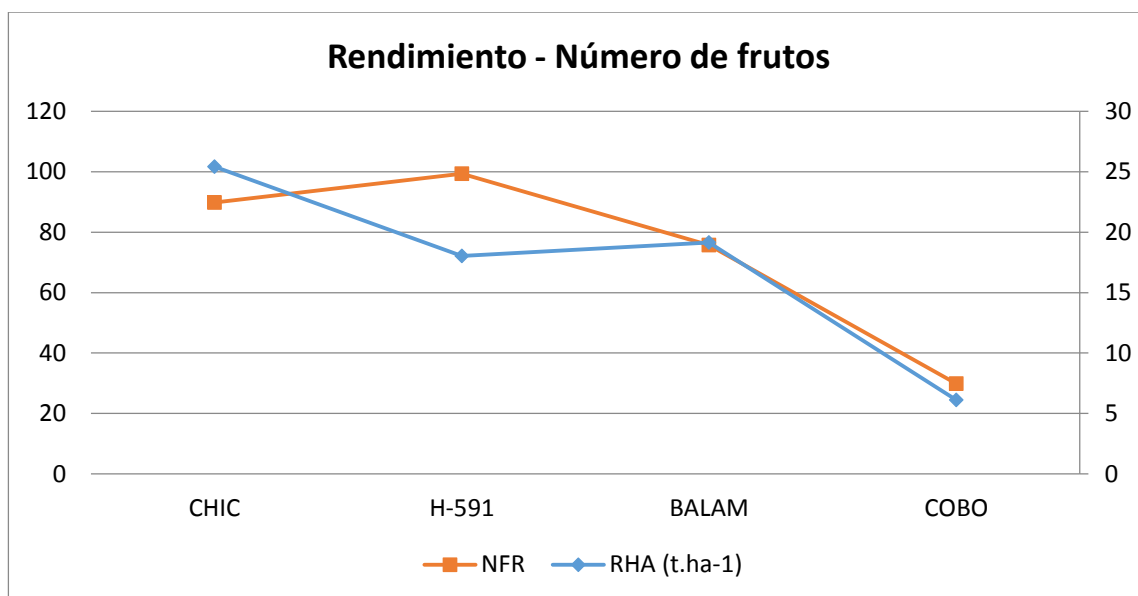


Figura 6. Impacto del número de frutos por planta (NFR) sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

Se observa en la Figura 6 que el mayor número de frutos por planta lo obtuvo la variedad H-591 (NFR; 99.28 frutos), sin embargo, esta variedad no tuvo el mejor rendimiento por hectárea (RHA; 18.04 t.h⁻¹), aproximadamente 7 t.h⁻¹ de diferencia respecto a la mejor variedad (CHIC), esto se debió a que H-591 tuvo el peso de fruto más bajo (PFR; 5.49 g). La variedad COBO obtuvo el menor número de frutos y el rendimiento más bajo, mostrando una correlación directa entre número de frutos y rendimiento por hectárea.

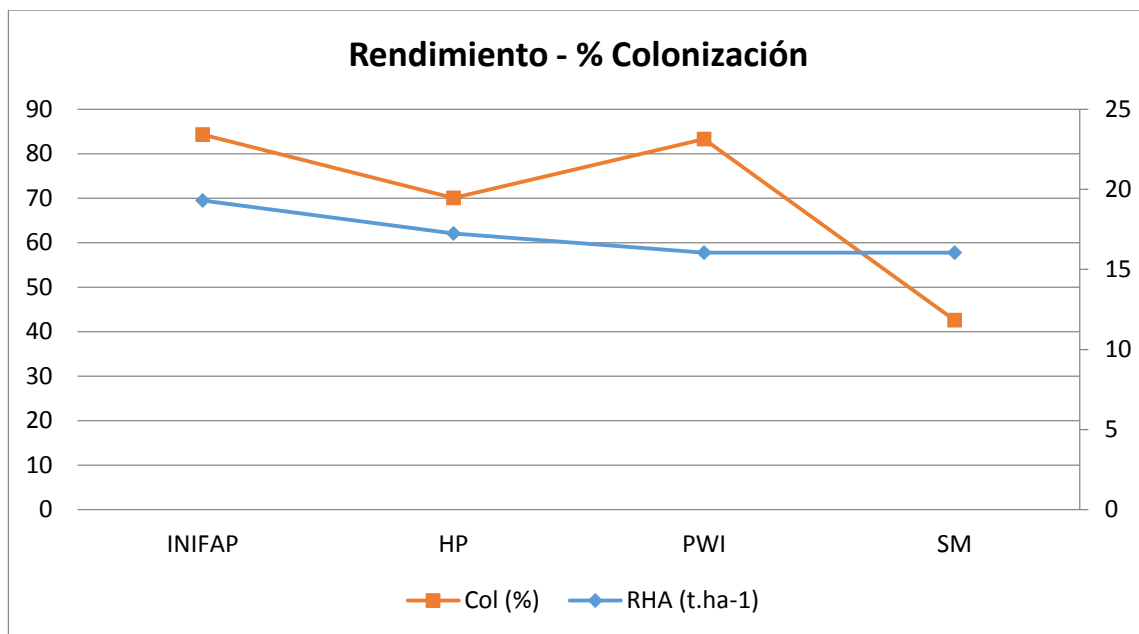


Figura 7. Colonización de micorrizas sobre el rendimiento por hectárea (RHA) en chile habanero en invernadero cultivado en hidroponía más micorrizas y composta en invernadero. Chapingo, 2013.

La Figura 7 muestra el comportamiento de las micorrizas sobre el rendimiento de chile habanero. Se aprecia que el mayor porcentaje de colonización lo obtuvo la cepa INIFAP (84.3 %), con esta variedad de igual manera se obtuvo el rendimiento más alto (RHA: 19.306 ton.ha⁻¹); contrario a esto, el testigo (SM) arrojó el menor porcentaje de colonización (42.6 %) y el rendimiento más bajo (RHA; 16.048 ton.ha⁻¹).

El mejor tratamiento para rendimiento (RHA: 19.306 ton.ha⁻¹) fue el de la cepa INIFAP y estuvo directamente asociado al mayor porcentaje promedio de colonización encontrado (84.3 %) (Cuadro 16).

El promedio de colonización micorrízica para el tratamiento testigo fue de 42.6 %, apenas la mitad de aquellos tratamientos micorrizados (81.91 %).

4.6. Correlaciones entre caracteres

4.6.1. Rendimiento y sus componentes

El rendimiento de fruto por hectárea RHA presentó una correlación directa (positiva) y significativa con altura de planta (ALT; $r = 0.86^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.87^{**}$), peso de fruto (PFR; $r = 0.55^{**}$), largo de fruto (LAR; $r = 0.68^{**}$) y altura de la primera bifurcación (ALY; $r = 0.34^{**}$), sin embargo, se considera al número de frutos por planta y a la altura de planta como los principales caracteres relacionados positivamente con el rendimiento debido a la correlación alta que se obtuvo.

La variable altura de planta ALT mostró una correlación directa (positiva) y significativa con el rendimiento por hectárea (RHA; $r = 0.86^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.77^{**}$), largo de fruto (LAR; $r = 0.66^{**}$), peso de fruto (PFR; $r = 0.47^{**}$) y altura de la primera bifurcación (ALY; $r = 0.37^{**}$) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Correlaciones del rendimiento, y sus componentes con otros caracteres del cultivo de chile habanero cultivada en hidroponía más micorrizas en invernadero. Chapingo 2013.

Variables	RHA	NFR	PFR
ALT	0.86**	0.77**	0.47**
ALY	0.34**	0.52**	-0.16ns
VIG	-0.05ns	-0.13ns	0.09ns
LAF	0.68**	0.32**	0.87**
ANF	0.19ns	-0.21ns	0.74**
NFP	0.87**		0.12ns
PFR	0.55**	0.12ns	
COL	-0.09ns	-0.008ns	-0.14ns

RHA: rendimiento por hectárea (t.ha-1); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso por fruto (g). LAR: largo de fruto (cm); ANC: ancho de fruto (cm); VIG: vigor de planta; ALT: altura de planta (cm); ALY: altura a la primera bifurcación (cm). COL: Colonización de micorrizas (%).

4.6.2. Calidad y sus componentes

El número de frutos de primera calidad (NF1) tuvo una correlación directa (positiva) y significativa con la altura de planta (ALP; $r = 0.83^{**}$), altura a la primera bifurcación (ALY; $r = 0.32^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.87^{**}$), largo de fruto (LAF; $r = 0.65^{**}$), peso de los frutos (PFR; $r = 0.44^{**}$) y rendimiento por hectárea (RHA; $r = 0.95^{**}$) (Cuadro 18).

Considerando el tamaño de fruto, se obtuvo que el largo de fruto (LAF) se correlaciona directa y significativamente con la altura de planta (ALP; $r = 0.66^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.32^{**}$), peso de fruto (PFR; $r = 0.87$), rendimiento por hectárea (RHA; $r = 0.68^{**}$), número de frutos totales (NFT; $r = 0.30^{**}$) y número de frutos de primera calidad (NF1; $r = 0.65^{**}$); siendo el peso del fruto el que mayor correlación positiva presentó (Cuadro 18).

El tamaño de fruto, representado por el largo (LAF) y ancho de fruto (ANF) se correlaciona de forma negativa y significativa con el número de frutos de segunda calidad (NF2; $r = -0.63^{**}$ y $r = -0.78^{**}$, respectivamente); esto significa que a mayor número de frutos grandes, existe una menor cantidad de frutos de segunda calidad (Cuadro 18).

Cuadro 18. Correlaciones de calidad y sus componentes con otros caracteres del cultivo de chile habanero cultivada en hidroponía más micorrizas en invernadero. Chapingo. 2013.

Variables	NFT	NF1	NF2	LAF	ANF
ALP	0.74**	0.83**	-0.05ns	0.66**	0.20ns
ALY	0.54**	0.32**	0.51**	-0.13ns	-0.41**
VIG	-0.21ns	-0.21ns	-0.03ns	-0.02ns	0.31**
NFR	0.98**	0.87**	0.34**	0.32**	-0.21ns
PFR	0.094ns	0.44**	-0.67**	0.87**	0.74**
RHA	0.84**	0.95**	-0.08ns	0.68**	0.19ns
COL	-0.007ns	-0.09ns	0.17ns	-0.18ns	-0.12ns
NFT		0.88**	0.38**	0.30*	-0.25*
NF1	0.88**		-0.09ns	0.65**	0.12ns
NF2	0.38**	-0.09ns		-0.63**	-0.78**
LAF	0.30*	0.65**	-0.63**		0.72**
ANF	-0.25*	0.12ns	-0.78**	0.72**	

RHA: rendimiento por hectárea (t.ha-1); NFR: número de frutos por planta; PFR: peso de fruto (g). LAF: largo de fruto (cm); ANF: ancho de fruto (cm); VIG: vigor de planta (cm); ALP: altura de planta (cm); ALY: altura a la primera bifurcación (cm). COL: Colonización de micorrizas (%); NFT: Número de Frutos Totales; NF1: Número de Frutos de Primera Calidad; NF2: Número de Frutos de Segunda Calidad.

5. CONCLUSIONES

La planta de chile habanero pudo completar su ciclo de vida en una región con condiciones climáticas adversas a la especie.

La interacción de la variedad CHIC más la cepa INIFAP representa la mejor opción para obtener rendimientos altos y frutos de buena calidad.

La colonización micorrícica influyó de manera directa sobre el rendimiento, INIFAP obtuvo el rendimiento más alto y estuvo asociado de forma directa con el mayor porcentaje de colonización. Mientras que el testigo obtuvo el rendimiento más bajo.

CHIC presentó el rendimiento más alto. El peso de fruto (PFR) y el número de frutos por planta (NFR) fueron importantes en el incremento del rendimiento, siendo el número de frutos por planta la más determinante. Y de acuerdo a las correlaciones, el número de frutos por planta (NFR) y la altura de planta (ALP) son las que más se correlacionan de forma directa con el rendimiento.

La mejor calidad de fruto fue el de la variedad CHIC ya que su porcentaje de frutos de primera calidad (NF1) respecto al número de frutos totales (NFT) fue del 96.08 % y 3.92 % de frutos de segunda calidad (NF2). COBO fue la variedad que arrojó el mayor porcentaje de frutos de segunda calidad (60.4%) y menor porcentaje de frutos de primera calidad (39.6 %).

INIFAP tuvo el mayor número de frutos totales (NFT: 828.63), y el mayor porcentaje de frutos de primera calidad (NF1: 73.64%; NF2: 26.36%). El testigo fue ligeramente superior a las cepas PWI y HP, por lo que la calidad del fruto no fue influenciada claramente por la presencia de micorrizas, aunque cabe mencionar que la cepa PWI mostró los frutos más grandes (largo de fruto (LAR): 4.66 cm; ancho de fruto (ANC): 3.07 cm).

Las micorrizas no influyeron significativamente en los caracteres relacionados con el porte de la planta: altura de planta (ALP), vigor de planta (VIG) y altura a la primera bifurcación (ALY).

En función de las correlaciones altas, positivas y significativas, los componentes del rendimiento del chile habanero fueron: altura de planta (ALT; $r = 0.86^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.87^{**}$), peso de fruto (PFR; $r = 0.55^{**}$), largo de fruto (LAR; $r = 0.68^{**}$) y altura de la primera bifurcación (ALY; $r = 0.34^{**}$). Y los componentes de calidad: altura de planta (ALP; $r = 0.83^{**}$), altura a la primera bifurcación (ALY; $r = 0.32^{**}$), número de frutos por planta (NFR; $r = 0.87^{**}$), largo de fruto (LAF; $r = 0.65^{**}$), peso de los frutos (PFR; $r = 0.44^{**}$) y rendimiento por hectárea (RHA; $r = 0.95^{**}$).

6. LITERATURA CITADA

- Azcón, A. C., & Barea, J. M. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*, 68, 1-24.
- Blanco, F. A., & Salas, E. A. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial en la investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 55-67.
- Borges, G. L., Chuc, P. J., Escamilla, B. A., & Medina, L. F. (2006). Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrociencia*, 40 (4), 431–440.
- Borges, G. L., González E. T., & Soria F. M. 2008. Predicción de la demanda nutrimental de potasio para la producción de *Capsicum chinense* Jacq. en el sureste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8, 69–80.
- Carballo, B., M. A., Moguel, S. F., Brito, A. L., Cristóbal, A. J., & Islas, F. I. 2010. A brief morphological description of a small internal fruit grown in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) main fruit. *Revista fitotecnia mexicana*, 33 (4), 282-285.
- Claassen, V.P., & Carey, J. L. 2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci. & Util*, 12(2), 145-152.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2024-2030.

- Gerdemann, J. W. 1964. The effect of mycorrhizas on the growth of maize. *Mycologia* 56, 342-349.
- González, G. M. 2005. *Estudio de los mecanismos implicados en la homeostasis de metales pesados en el hongo formador de micorrizas arbusculares Glomus intraradices*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Granada, España.
- Habib, S. G. 2011. *Hongos endomicorrízicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Harvell, K. P., & Bosland, P. W. 1997. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *HortScience*, 32, 1292.
- Harvell, K. P., & Bosland, P. W. 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles. *HortiSciencie*, 32, 1292-1297.
- Heeb, A., Lundegardh, B., Ericsson, T., & Savage P. G. 2005. Nitrogen from affects yield taste of tomatoes. *J. Food Sci. Agric*, 85, 1405-1414.
- Ibave, G. J. L., Ojeda, B. D., Ruiz, A. T. de J., Nuñez B. A., & Martínez T. J. 2007. Perspectivas de comercialización y valor agregado del chile. *Claridades Agropecuarias*, 163, 21-31.
- Laborde, C. J., & Pozo, O. 1984. *Presente y pasado del chile en México*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México.

- Laborde, J. A., & Pozo, O. 1984. *Presente y pasado del chile en México*. Publicación especial No. 85. INIA, SARH. México. D.F.
- López, U. T. Y. 2013. *Producción hidropónica en invernadero de chile de agua (Capsicum annum L.) con uso de hongos endomicorrízicos*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., & Rodríguez, D. N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 34(1), 69-74.
- Morton, J. B., & Benny, G. L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, (37), 471-491.
- Mosse, B. 1957. Growth and chemical composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. *Nature*, 179, 349-362.
- Nieto, G. A., Murillo, A. B., Troyo, D. E., Larrinaga, M. L., & García, J. A. 2002. El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible de chile (*Capsicum annum L.*) en zonas áridas. *Interciencia*, 27 (8), 417-421.
- Noh-Medina, J., Borges-Gómez, L., & Soria-Fregoso, M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12, 219-228.

- Nuez, F., Gil, O. R., & Costa, J. 2003. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Reimpresión. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Olalde, P. V., & Aguilera, G. L. I. 1998. Microorganismo y biodiversidad. *Terra Latinoamericana*, 16, 289–292.
- Piña-Razo, J. 1982. *Habanero Inia y Habanero Uxmal: Nuevas variedades de chile para la península de Yucatán*. Yucatán, México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos INIA-SARH.
- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean Fungi from the Ordovician. *Science*, 289, 1920–1921.
- Reyes, J. I. 2011. La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *ContactoS*, 81, 17–23.
- Rodríguez, D. N., Cano R. P., Figueroa V. U., Palomo G. A., Favela C., Álvarez R. V. P., Márquez H. C., & Moreno R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(3), 265-272.
- Ruiz-Lau, N., Medina, L. F., & Martínez, E. M. 2011. El Chile Habanero: su origen y usos. *Ciencia*, 70–77.
- Ruiz-Lozano, J. M. 2003. Arbuscular Mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza*, 13, 309–317.
- Salazar-Olivo, L. A., & Silva-Ortega, C. O. 2004. Efectos farmacológicos de la capsaicina, el principio pungente del chile. *Biología Scripta*, 1, 7-14.

- Santoyo, J. J. A. 2010. *Producción de chile habanero en casa sombra*. Centro de validación y transferencia de tecnología de Sinaloa. AC.
- Schubler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol Res*, 105, 1413-1421.
- Shankar, S. J., Chandra, P., & Singha, D. P. 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agricultura and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140, 339–353.
- Soria, F. M., Trejo, R. J. A., Tun, S. J. M., & Terán, S. R. (2002). Paquete Tecnológico para la Producción de Chile Habanero. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2, Conkal, Yucatán, México.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (1997). *Mycorrhizal symbiosis*. (2a ed.). Academic Press. London.
- Tomás, G. E. T., Casanova, C. C., Gutiérrez, P. L., Torres, T. L., Contreras, F. M., Peraza, S. S. 2010. Chiles cultivados en Yucatán. *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Uso de la Flora y Fauna silvestre*, 342 – 344.
- Vallejo, C. F. A., & Estrada, S. E. I. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Cali, Colombia.
- Van-Tichelen, K. K., Colpaert, J. V., & Vangronsveld, J. (2001). Ectomycorrhizal protection of *Pinus sylvestris* against cooper toxicity. *New Phytologist*, 150 (1), 203–213.

Véry, A. A., & Sentenac, H. 2003. Molecular mechanisms and regulation of K⁺ transport in higher plants. *Annual Review Plant Biology*, 54, 575-603.

Xavier, L. J. C., & Boyetchko, S. M. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as biostimulants and bioprotectants of crops. In: G. G. Khachatourians, & D. K. Arora (ed), *Applied mycology and biotechnology*. Vol: (2) *Agriculture and food production*. (pp. 311–324). Elsevier science. Amsterdam, The Netherlands.