



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**



**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

**INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**INOCULACIÓN DE CALABACITA VERDURA  
CON CEPAS DE HONGOS MICORRÍZICOS  
ARBUSCULARES**

**ERIK MARTÍNEZ TORRIJOS**

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
CÓDIGO DE EXÁMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, MÉXICO JUNIO 21 DE 2013

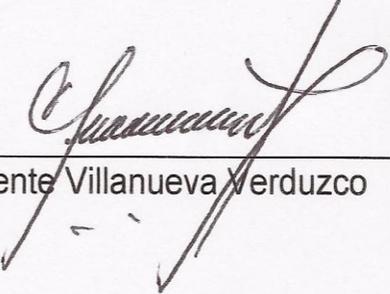


# INOCULACION DE CALABACITA VERDURA CON CEPAS DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES

Tesis realizada por **Erik Martínez Torrijos** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de

## MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

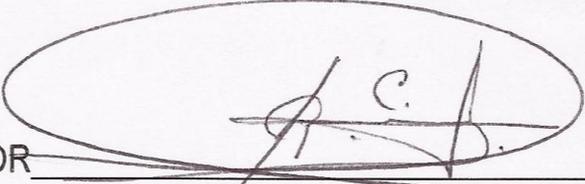
DIRECTOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Clemente Villanueva Verduzco

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Ph. D. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rogelio Castro Brindis

Chapingo, México. Junio 20 de 2013

## DATOS BIOGRÁFICOS

ERIK MARTINEZ TORRIJOS NACIÓ EL 22 DE JUNIO DE 1982 EN EL ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO. INGRESA A LA PREPARATORIA AGRICOLA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO, DONDE ADEMAS CONCLUYO LA LICENCIATURA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL EGRESANDO EN EL 2008.

EN EL 2009 PRESTÓ SUS SERVICIOS AL IICA-SENASICA. PROGRAMA OPERATIVO, APOYO TECNICO ADMINISTRATIVO PARA LA PREVENCION DEL INGRESO Y DISEMINACION DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EXOTICAS O BAJO CAMPAÑA EN MEXICO, EN PUENTES Y CRUCES INTERNACIONALES EN REYNOSA TAMAULIPAS.

TRABAJÓ EN 2010 EN EL INVERNADERO DE LA EMPRESA AGROINTENSIVA S.A. DE C.V. ATENDIENDO LA PRODUCCION DE JITOMATE Y CHILE PIMIENTO. HA PARTICIPADO EN DIVERSOS CURSOS, CONGRESOS, REUNIONES Y SIMPOSIOS, COMO ASISTENTE. EN ENERO DEL 2011 INGRESA AL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA PARA INICIAR ESTUDIOS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

## **AGRADECIMIENTOS**

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR EL APOYO ECONÓMICO BRINDADO DURANTE LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS DE DOCTORADO.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO Y EN ESPECIAL AL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA, POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE CONTINUAR CON MIS ESTUDIOS DE POSGRADO Y LOGRAR UNA META MÁS EN MI VIDA.

AL DR. CLEMENTE VILLANUEVA VERDUZCO POR LA DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, PORQUE SIEMPRE HA SIDO UNA EXCELENTE PERSONA Y POR SUS CONSEJOS.

AL Ph.D. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS POR LA REVISIÓN, APORTACIONES Y SUGERENCIAS PARA MEJORAR EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.

AL DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS POR SU VALIOSA ASESORÍA Y APORTACIONES PARA LA MEJORA DE ESTE TRABAJO.

AL TÉCNICO MAXIMINO RAMÍREZ AYALA POR SU VALIOSO APOYO EN LA FASE DE CAMPO.

## **DEDICATORIA**

A MIS PADRES: JUAN MANUEL MARTÍNEZ RODRÍGUEZ Y MARÍA LUISA TORRIJOS HERNÁNDEZ POR DARME LA OPORTUNIDAD DE CONOCER LA VIDA, Y PERTENECER A UNA GRAN FAMILIA, ACONSEJARME Y GUIARME EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES, ESPERANDO QUE ESTE LOGRO SEA UNA SATISFACCIÓN PARA ELLOS.

A MI NOVIA FIDELIA POR EL GRAN APOYO QUE SIEMPRE ME HA BRINDADO, POR LOS MOMENTOS AGRADABLES QUE HEMOS PASADO DURANTE MI ESTANCIA EN LA UACH Y SUS CONSEJOS PARA SER CADA DÍA UNA MEJOR PERSONA.

A MIS HERMANOS: JUAN CARLOS, OSWALDO, REYES, MIGUEL ÁNGEL, YAZMIN ADRIANA, EFRAÍN, ROSARIO, ANDRÉS, CARMEN Y A SUS PAREJAS YENNI, JESICA, IRENE Y DAVID. PORQUE JUNTOS FORMAMOS PARTE DE UNA GRAN FAMILIA, A ELLOS CON AFECTO.

.A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN 2011-2012 Y MUY ESPECIALMENTE A LUIS GERDIEL, CUAUHTÉMOC, MISAEL, THEDY, MARIO, NESTOR, JULIO, ANDRES

A LOS AMIGOS ALEX DAGOBERTO, ANDRES RIVERA, ARMANDO NARCISO ORTEGA, EDMUNDO PEREZ Y MANUEL ORRANTIA

“NO MERECE GUSTAR LA MIEL QUIEN SE APARTA DE LA COLMENA PORQUE LAS ABEJAS TIENEN AGUIJÓN.”

WILLIAM SHAKESPEARE

SINCERAMENTE  
ERIK MARTINEZ TORRIJOS

## TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>INOCULACIÓN DE CALABACITA VERDURA CON CEPAS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES</b> .....	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	<b>3</b>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 El cultivo de calabacita verdura</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Aspectos agronómicos del cultivo.....	5
2.1.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo .....	6
2.1.3 Enfermedades de las calabazas.....	6
<b>2.2 Simbiosis micorrízica</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 Taxonomía y morfología de los hongos micorrízicos arbusculares.....	10
2.2.2 Interacción planta – hongos formadores de micorrizas arbusculares .....	14
2.2.3 Papel de la micorriza arbuscular .....	15
<b>2.3 Composta</b> .....	<b>29</b>
2.3.1 Efecto de la aplicación de composta.....	30
2.3.2 Beneficios del uso de la composta .....	32
2.3.3 Interacción composta-micorriza .....	32
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>

<b>3.1 Localización del experimento .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Variedades .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Siembra y trasplante .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Diseño de tratamientos evaluados.....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Inoculación al trasplante .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6 Variables de estudio.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Riego y solución nutritiva .....</b>	<b>39</b>
<b>3.8 Determinación del porcentaje de colonización (endomycorrizas) .....</b>	<b>40</b>
3.8.1 Tinción de raíces .....	41
El método de Phillips y Haymann (1970) comprende:.....	41
3.8.2 Montaje de las raíces teñidas .....	41
3.8.3 Porcentaje de colonización micorrízica.....	42
<b>3.9 Análisis estadístico .....</b>	<b>43</b>
3.9.1 Análisis de varianza factorial.....	43
3.9.2 Análisis de varianza (no factorial) .....	44
3.9.3 Comparaciones múltiples de medias .....	44
3.9.4 Análisis de correlación entre variables .....	45
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>4.1 Análisis de varianza factorial.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2 Análisis de varianza (no factorial) .....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Comparación de medias (análisis factorial) .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 Variedad .....	51
4.2.2 Micorrizas.....	52
<b>4.3 Comparación de medias (análisis no factorial) .....</b>	<b>54</b>
<b>4.6 Correlaciones entre variables .....</b>	<b>60</b>
4.6.1 Rendimiento y sus componentes.....	60
4.6.2 Calidad y sus componentes.....	60
4.6.3 Porcentaje de colonización, Días a floración femenina y días a floración masculina. ....	61
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>

<b>VOLUMEN DE SUSTRATO Y MOMENTO DE INOLUCACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS EN CALABACITA.....</b>	<b>64</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>64</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>64</b>
<b>VI INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>VII MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
7.1 Localización del experimento .....	67
7.2 Variedades .....	67
7.3 Diseño de tratamientos evaluados.....	68
7.4 Inoculación.....	68
7.5 Siembra y trasplante .....	68
7.6 Variables en estudio.....	70
7.8 Riego y solución nutritiva .....	71
7.9 Determinación del porcentaje de colonización (endomicorrizas) .....	71
Tinción de raíces.....	72
Montaje de las raíces teñidas .....	72
7.9.1 Porcentaje de colonización micorrízica.....	72
7.10 Análisis estadístico .....	73
<b>IIX RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>74</b>
8.1 Análisis de varianza .....	74
8.1.1 Análisis de varianza entre los niveles de sustrato sin testigos .....	74
8.1.2 Análisis de varianza con testigos.....	76
8.2 Comparación de medias de niveles de los factores .....	77
8.2.1 Volumen de sustratos por planta.....	77
8.2.2 Momento de inoculación .....	78
8.3 Medias de combinaciones de niveles de factores.....	80
<b>X LITERATURA CITADA .....</b>	<b>83</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Aportes de la composta (residuos de hortalizas) al suelo.....	31
Cuadro 1.1	Aportes de nutrimentos al suelo por la composta.....	31
Cuadro 2	Características de variedades empleadas.....	34
Cuadro 3	Tratamientos del experimento como combinaciones de dos variedades de calabacita con cuatro cepas micorrízicas en hidroponía en invernadero.....	37
Cuadro 4	Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.....	39
Cuadro 5	Cuadros medios del análisis de varianza (factorial) para cinco caracteres de calabacita (rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.....	48
Cuadro 6	Cuadros medios del análisis de varianza (factorial) para cuatro caracteres de calabacita (calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.....	49
Cuadro 7	Cuadros medios del análisis de varianza (no factorial) para cinco caracteres de calabacita (rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.....	50
Cuadro 8	Cuadros medios del análisis de varianza (no factorial) para cinco caracteres de calabacita (calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles de cepa micorrízica y variedad en invernadero, Chapingo 2012.....	51
Cuadro 9	Comparaciones múltiples de medias de variedades y cepas micorrízicas para cinco caracteres de rendimiento en calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo 2012.....	53
Cuadro 10	Comparaciones múltiples de medias de variedades y cepas micorrízicas para cuatro caracteres de calidad en calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo 2012.....	53

Cuadro 11	Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para cinco caracteres (rendimiento y sus componentes) de calabacita hidropónica en invernadero. Analisis combinado no factorial Chapingo, 2012.....	56
Cuadro 12	Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para cuatro caracteres (calidad y sus componentes) de calabacita hidropónica en invernadero. Analisis combinado no factorial. Chapingo, 2012.....	56
Cuadro 13	Correlaciones entre caracteres del cultivo de calabacita verdura cultivada en hidroponía en invernadero 2012.....	61
Cuadro 14	Diversos caracteres de calabacita verdura evaluados por Segura R. V. 2008 (Variedad Star).....	67
Cuadro 15	Diseño de tratamientos del experimento como combinación de dos variedades de calabacita en invernadero.....	68
Cuadro 16	Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.....	71
Cuadro 17	Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor en plántulas de calabacita.....	75
Cuadro 18	Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de rendimiento y calidad en calabacita hidropónica en invernadero.	75
Cuadro 19	Cuadrados medios del análisis de varianza con testigos para caracteres de vigor de plántula en plántulas de calabacita.....	76
Cuadro 20	Cuadrados medios del análisis de varianza con testigos para caracteres de rendimiento y calidad en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.....	77
Cuadro 21	Comparaciones múltiples de medias factorial para caracteres de vigor en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero...	79
Cuadro 22	Comparaciones múltiples de medias para caracteres de rendimiento y calidad en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero. ....	79
Cuadro 23	Comparaciones múltiples de medias factorial para caracteres de vigor en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.	81
Cuadro 24	Comparaciones múltiples de medias para caracteres de rendimiento y calidad en calabacita hidropónica en invernadero.	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estructura morfológica de los hongos micorrízicos arbusculares (Escobar-Acevedo <i>et al.</i> , 2007).....	13
Figura 2	Arreglo topológico de las plantas de calabacita en invernadero.....	36
Figura 3	Arreglo topológico de las plantas de calabacita en invernadero.....	69

## INOCULACIÓN DE CALABACITA VERDURA CON CEPAS DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.

Inoculation of summer squash with strains of arbuscular mycorrhizal fungi  
E. Martínez-Torrijos<sup>1</sup>; C. Villanueva-Verduzco<sup>2</sup>; J. Sahagun-Castellanos; R Castro-Brindis.

### RESUMEN

Se evaluó el efecto de la inoculación micorrízica (cuatro cepas) sobre la producción de dos variedades híbridas de calabacita verdura (*Cucurbita pepo*) en invernadero e hidroponía. El diseño fue en bloques al azar con cuatro repeticiones en un arreglo factorial (4x2). En camas con tezontle, 720 g de composta fueron aplicadas a cada planta a fin de favorecer la simbiosis. La inoculación se realizó aplicando la cepa micorrízica al cepellón al momento del trasplante. La unidad experimental constó de 10 plantas. La variedad Star fue estadísticamente superior a Termo para rendimiento (145.553 vs 122.395 t·ha<sup>-1</sup>), peso total de frutos (3.68 vs 3.09 kg·planta<sup>-1</sup>), peso de frutos de primera y segunda calidad (2.88 vs 2.58 kg·planta<sup>-1</sup> y 0.77441 vs 0.4966 kg·planta<sup>-1</sup>), número total de frutos (31.125 vs 26.0875 frutos·planta<sup>-1</sup>), número de frutos de primera y segunda calidad (23.98 vs 21.4 frutos·planta<sup>-1</sup> y 6.45 vs 4.09 frutos·planta<sup>-1</sup>). La cepa Hortic plus® fue estadísticamente superior a Micofos® (cepa con menor rendimiento) para rendimiento (144.826 vs 124.947 t·ha<sup>-1</sup>), peso total de frutos (3.6665 vs 3.1632 kg·planta<sup>-1</sup>), número total de frutos (30.7125 vs 26.475 kg·planta<sup>-1</sup>), número de frutos de primera calidad (23.97 vs 21.23). La mejor combinación de factores (variedad Star + cepa Hortic Plus®) incrementó significativamente el rendimiento (156.33 t·ha<sup>-1</sup>: 64.4 %) y el número de frutos de primera calidad (38.1) con respecto al testigo de la variedad Termo (tratamiento inferior).

**Palabras claves:** cepas comerciales, hongos micorrízicos, calidad de fruto, rendimiento por ha, *Cucurbita pepo*.

### ABSTRACT

Effect of mycorrhizal inoculation (four strains) on production of two hybrid varieties of summer squash (*Cucurbita pepo*) under greenhouse and hydroponics was studied. Experimental design was randomized blocks with four replications in a factorial arrangement (4x2). In beds with volcanic sand as substrate, 720 g of compost were applied to each plant to promote symbiosis. Inoculation of the root ball with mycorrhizal strains was performed at the moment of transplant. Ten plants made up the experimental unit. The variety Star was statistically better than Termo in yield (145,553 vs 122,395 t·ha<sup>-1</sup>), total fruit weight (3.68 vs 3.09 kg·plant<sup>-1</sup>), fruit weight of first and second grade quality fruit (2.88 vs 2.58 kg·plant<sup>-1</sup> and 0.77441 vs 0.4966 kg·plant<sup>-1</sup>), total number of fruits (31,125 vs 26.0875 fruits·plant<sup>-1</sup>), number of first and second grade quality fruits (23.98 vs 21.4 fruits·plant<sup>-1</sup> and 6.45 vs 4.09 fruits·plant<sup>-1</sup>). Hortic plus® was statistically superior to Micofos® (strain producing the lowest yield) in yield (144 826 vs 124 947 t·ha<sup>-1</sup>), total fruit weight (3.6665 vs 3.1632 kg·plant<sup>-1</sup>), total number of fruits (30.7125 vs 26,475 kg·plant<sup>-1</sup>), number of first grade quality fruits (23.97 vs. 21.23). The best combination of factors (variety Star + Hortic Plus®) significantly increased yield (156.33 t·ha<sup>-1</sup>: 64.4 %) and number of first grade quality fruits (38.1) relative to the control with variety Termo (treatment with the lowest yield and lowest quality fruit).

**Key words:** Mycorrhizal fungi, fruit quality, yield, *Cucurbita pepo*.

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

2 Director de tesis, Profesor- Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

## I. INTRODUCCIÓN

La importancia de la calabacita radica en contribuir al producto interno bruto y en sus propiedades nutricionales. Es fuente de empleos y generadora de divisas, ya que alrededor del 40 % de la producción nacional es exportada principalmente hacia Estados Unidos y Canadá. Si bien la superficie sembrada de calabacita ha tenido un ligero decremento de 30,698.77 ha en el año 2000 a 28,397.67 ha en el 2011, la productividad ha aumentado de 401,914.48 a 444,520.62 toneladas respectivamente (SIAP 2013). Esto demuestra que se está avanzando en tecnologías y prácticas para incrementar el rendimiento que se elevó de 13.351 a 16.462 t·ha<sup>-1</sup>.

Entre las tecnologías y prácticas que han incrementado la productividad, está el cultivo bajo condiciones ambientales protegidas (mallas sombra e invernaderos) que en los últimos años ha permeado a los productores ya que de 3.74 ha de calabacita en invernadero sembradas en el 2007 se incrementó a 50.17 ha para el 2011 en México, obteniéndose rendimientos medios de 7.31, 120, 45.84 y 50.17 t·ha<sup>-1</sup> para los años 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente. La gran variación en los rendimientos muestra que no están estandarizadas las prácticas de producción bajo condiciones controladas lo que genera una demanda por prácticas y tecnologías para incrementar la producción, lo cual representa una oportunidad para buscar mayores beneficios al producir, “haciendo más con menos” o “hacer más en forma diferente y eficiente”, por lo que es necesario un mejor entendimiento de la interacción suelo-planta-organismos-atmosfera, en la producción agrícola.

Como parte de esa necesidad de entender las interacciones de la planta con su medio y a fin de incrementar los beneficios obtenidos de la producción agrícola, se han incrementado la tendencia entre otras la incorporación de compostas y microorganismos benéficos al suelo.

En los cultivos agrícolas, la composta ayuda a mejorar la asimilación de los nutrimentos ya sean presentes en el suelo o aplicados como fertilizantes; y contribuye a corregir preferentemente deficiencias de N y P del suelo. Estimula y potencializa la germinación de semillas tratadas, prolonga el periodo productivo de las plantas, realiza una acción de traslación de micro elementos del sistema radicular hacia la parte aérea de la planta, favoreciendo el equilibrio nutricional; secuestra los cationes del suelo tales como Cu, Zn, Mn, Co, Fe, entre otros que se encuentran muchas veces bajo formas insolubles, dándoles movilidad y disminuyendo posibles problemas de deficiencia (Nieto *et al.*, 2002).

Los hongos micorrizicos arbusculares (*Glomus* spp) hacen más eficiente la absorción de agua, fosforo y otros micro y macro elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos agrícolas (Gardezi *et al.*, 2008). Sin embargo, pocas investigaciones en México han evaluado su efecto en especies de interés como las hortalizas.

## **OBJETIVO**

Determinar el efecto de la inoculación con hongos endomicorrízicos sobre el desarrollo, rendimiento y calidad de dos variedades de calabacita hidropónica cultivadas en invernadero.

## **HIPÓTESIS**

Existen diferencias en la respuesta varietal de la calabacita a la aplicación de distintas cepas de hongos endomicorrízicos que se ven reflejadas en el desarrollo, incremento de la producción y mejora de la calidad de los frutos de calabacita cultivada en hidroponía en invernadero

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 El cultivo de calabacita verdura

El género *Cucurbita* es uno de los económicamente más importantes y cuenta con 27 especies (Whitaker, 1974; Hernández, 1978). Las especies de este género forman el grupo conocido como calabazas, de las cuales cinco han sido domesticadas: *C. pepo* L. (calabaza de india), *C. ficifolia* Bouché (chilacayote), *C. moschata* (Duchesne ex Lam.) Duchesne ex Poiret (calabaza de castilla); *C. maxima* Duchesne ex Lam (calabaza kabosha; zapallo) y *C. argyrosperma* Huber (calabaza pipiana). Son importantes desde el punto de vista económico, nutricional y cultural tanto a nivel nacional como mundial. Las partes alimenticias van desde los frutos inmaduros y maduros, semillas, flores y algunas partes vegetativas. Además del uso alimenticio, las calabazas se pueden emplear con fines industriales, comerciales, medicinales y ceremoniales (Lira-Saade, 1995; Villanueva, 2007).

Las especies silvestres y cultivadas de *Cucurbita* son plantas herbáceas, anuales, monoicas (con flores masculinas y femeninas separadas), rastreras, trepadoras o subarbustivas y arbustivas en las variedades mejoradas. Sus flores son gamopétalas con corolas campanuladas, muy vistosas, de color amarillo anaranjado brillante; abren muy temprano por la mañana y su polinización es principalmente entomófila. Las flores masculinas siempre aparecen primero en la planta, presentan los estambres estructurados a manera de columna, en donde los filamentos son libres o más o menos coherentes y las anteras se hallan soldadas formando una estructura

cilíndrica o angostamente piramidal, tienen tallo muy largo y delgado, a diferencia de las femeninas, éstas tienen un ovario ínfero con numerosos óvulos en posición horizontal, los estilos están fusionados casi en toda su longitud o sólo son cortamente libres en el ápice; los estigmas son grandes, carnosos y más o menos hendidos o lobulados y se observan ligeras modificaciones en cuanto a la estructura del perianto respecto de las estaminadas, principalmente correspondientes a diferencias de tamaño de alguna o algunas de sus partes (el receptáculo es siempre mucho más reducido). Los tallos son angulares, cinco bordes o filos, cubiertos de vellos; las hojas se sostienen por medio de pecíolos largos y huecos. Los frutos son de tipo pepo en una gran diversidad de formas, tamaños, colores y tipos de superficies (Lira-Saade, 1995; Villanueva, 2007). El número básico de cromosomas de todas las especies de *Cucurbita* es  $2n=2x=40$  y los cariotipos sugieren que estas especies son de origen autoploiploide (Singh, 1979; Weeden, 1984; Lebeda *et al.*, 2007).

### **2.1.1 Aspectos agronómicos del cultivo**

*C. pepo* es la única especie de calabaza que se cultiva a nivel comercial para calabacita en México. En el ciclo agrícola 2011 se registraron casi 28,397.67 ha sembradas en condiciones de temporal y riego, con un rendimiento promedio de 16.462 t·ha<sup>-1</sup>. Las de tipo criollo sólo presentaron 2,144 ha sembradas, con un rendimiento promedio de 14 t·ha<sup>-1</sup> (SAGARPA a, 2013).

### **2.1.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo**

Las diversas especies se producen en condiciones ecológicas bastante amplias, crecen desde altitudes cercanas al nivel del mar, hasta mayores a los 2,000 msnm (Lira-Saade, 1995). A México se le considera centro de origen y de distribución de las diferentes especies de esta hortaliza (Pérez *et al.*, 1998), y sólo en pequeña escala a *C. maxima*, que se encuentra en Centroamérica y parte norte de América del Sur (Hernández, 1978; Lira-Saade, 1995). *Cucurbita pepo* parece ser una de las primeras especies en haber sido domesticadas.

La calabaza es una hortaliza de clima cálido que no tolera heladas, la temperatura para la germinación debe ser mayor de 15° C, siendo el rango óptimo de 22 a 25° C; la temperatura para su desarrollo tiene un rango de 18 a 35° C, con temperaturas frescas y días cortos hay mayor formación de flores femeninas. Prospera en cualquier tipo de suelo, prefiriendo los profundos y ricos en materia orgánica. Es catalogada como una hortaliza moderadamente tolerante a la acidez, prefiriendo su pH entre 5.5-6.8; en lo que se refiere a la salinidad, se reporta como medianamente tolerante (Valadez, 1990).

### **2.1.3 Enfermedades de las calabazas**

Como cualquier otro cultivo, las calabazas son afectadas por plagas y enfermedades que disminuyen su rendimiento y calidad de los frutos. Entre las principales enfermedades fungosas se encuentra el tizón de las cucurbitáceas (*Alternaria*

*cucumerina*), mildiú (*Pseudoperonospora cubensis*), cenicilla (*Erysiphe cichoracearum*) y oidiopsis (*Leveillula taurica*), antracnosis (*Colletotrichum lagenarium*), pudriciones radicales y marchitez vascular (*Phytophthora infestans*), ahogamiento y pudrición de la raíz (*Pythium* spp), marchitez (*Fusarium oxysporum*) la más importante en el mundo y pudrición de raíz y cuello (*Rhizoctonia solani*). Las bacterias que provocan daños al cultivo son las especies *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*, responsable de la mancha angular; *Xanthomonas campestris* pv. *cucurbitae*, responsable de la pudrición bacteriana de los frutos de calabaza; *Erwinia tracheiphila*, responsable del marchitamiento bacteriano, otras bacterias que atacan a las cucurbitáceas son *Erwinia ananas*, *E. aroidaeae*, *E. carnegiana*, *Pectobacterium carotovora* var. *carotovora* y *Agrobacterium rhizogenes* (Blancard et al., 1991).

El principal problema fitopatológico que afecta a las calabazas son las enfermedades virales, que disminuyen en gran medida el rendimiento y causan grandes pérdidas económicas. Lo característico de estas enfermedades es que en la mayoría de los casos, se encuentra más de un virus en una misma planta (Acosta y Rodríguez, 1988; Delgadillo, 1990). Los virus más frecuentes son el *Cucumber Mosaic Virus* (virus mosaico del pepino, CMV), *Squash mosaic virus* (virus mosaico de la calabaza, SqMV), y el *Watermelon mosaic virus* (virus del mosaico de la sandía WMV (Provvidenti, 1996; Garzon, 1988)); *Cucumber green mottle mosaic Virus* (virus mosaico moteado verde del pepino, CGMMV), *Melon necrotic spot virus* (virus de las manchas necróticas del melón, MNSV), *Papaya rings pot virus* (virus de la mancha anular de la papaya, PRSV), *Cucurbit aphid-borne yellows virus* (virus del

amarillamiento de las cucurbitáceas transmitido por pulgones, CABYV), *Zucchini yellow mosaic virus* (virus del mosaico amarillo del calabacín, ZYMV), *Beet pseudoyellows virus* (virus del falso amarilleo de la remolacha, BPYV), *Cucumber vein yellowing virus* (virus del amarilleo de las venas del pepino, CVYV), *Cucurbit yellow stunting disorder virus* (virus del amarilleo y enanismo de las cucurbitáceas, CYSDV), *Muskmelon yellows virus* (virus del amarilleo del melón, MYV), entre otros (Blancard *et al.*, 1991).

## **2.2 Simbiosis micorrízica**

Partiendo de sus relaciones con las plantas, los microorganismos del suelo se dividen en tres grandes grupos: a) saprófitos, que utilizan compuestos orgánicos procedentes de residuos de animales, vegetales o microbianos; b) patógenos, causantes de enfermedades a las plantas y c) simbiotes. La simbiosis se define como relación de dos o más organismos que viven juntos.

Se pueden encontrar dos tipos de simbiosis: parasítica, en la que un organismo toma de otro los compuestos necesarios para vivir, pudiendo provocar daños severos e incluso la muerte del otro organismo; y mutualista, en la que los dos organismos involucrados obtienen beneficios mutuos (Alarcón *et al.*, 2001). Entre estos últimos destacan los hongos formadores de micorrizas, capaces de asociarse con las raíces de las plantas y proveerles nutrientes minerales y eficiencia tanto en la absorción de éstos como del agua.

El término micorriza, proviene del griego *Mykes=hongo* y *Rhiza=raíz*, que literalmente significa “hongo de la raíz”, fue acuñado por Albert B. Frank en 1885, para describir la unión de dos organismos que forman un solo órgano morfológico en donde existe una retroalimentación de los simbioses (Agarwal y Sah, 2009). Inicialmente se creía que la asociación micorrízica se presentaba únicamente en especies arbóreas, pero a través del tiempo y con los resultados de diversas investigaciones se demostró que existe una amplia diversidad de asociaciones que están presentes en la mayoría de las plantas superiores (Aguilera-Gómez *et al.*, 2008).

Esta simbiosis juega un papel clave en el establecimiento y desarrollo de la mayoría de las plantas terrestres, entre las que se incluyen especies de interés agrícola: cereales, leguminosas, hortalizas, frutales, ornamentales e industriales, en cultivos como algodón, además de cultivos tropicales como la yuca y el café, entre otros (Azcón-Aguilar y Barea, 1996).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son heterótrofos, no fotosintéticos y establecen una relación muy estrecha con la raíz de la planta hospedera. A pesar de haber logrado el crecimiento de los hongos micorrízicos *in vitro*, no se ha tenido un desarrollo satisfactorio del hongo para compensar las necesidades para su aplicación tecnológica (Karandashov *et al.*, 2000; Guzmán-González y Farías-Larios, 2005). ya que son incapaces de completar su ciclo de vida sin colonizar la raíz. Entre la planta y el hongo se establece un intercambio en el cual ambos se benefician, la planta proporciona al micobionte carbohidratos y el hongo micorrízico la abastece de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio e incrementa la absorción de agua y

micronutrientes como cobre y zinc. Además, el hongo confiere a la planta protección contra patógenos que ocasionan pudriciones de raíz y marchitamiento vascular e incrementa la solubilidad de minerales del suelo. De esta manera, la planta incrementa su crecimiento y productividad en respuesta al transporte de nutrimentos y agua que el hongo obtiene del suelo (Xoconostle-Cázares y Ruiz-Medrano, 2002).

Harris-Valle *et al.*, 2009 encontraron que los HMA utilizan del 10 al 20 % del CO<sub>2</sub> asimilado por las plantas. No todas las plantas que componen la comunidad vegetal dependen en igual medida de los HMA para su crecimiento en función del grado de dependencia micorrízica de la planta dominante y de la abundancia de HMA, la diversidad de la comunidad vegetal tenderá a aumentar o disminuir (Kiers y van der Heijden, 2006). La diversidad genética de los HMA está asociada a una elevada diversidad funcional causando efecto diferencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Varela y Trejo, 2001; Martínez y Pugnaire, 2009).

### **2.2.1 Taxonomía y morfología de los hongos micorrízicos arbusculares**

Tradicionalmente se reconocen seis grupos de micorrizas basándose en criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos tanto de las plantas como de los hongos. Tales grupos de son micorriza; arbutoide, monotropoide, ericoide, orquidioide, arbuscular y ectomicorriza (Read, 1998).

Los hongos formadores de la micorriza arbuscular (HMA) pertenecen a la clase de los Glomeromycetes que se caracterizan por formar filamentos llamados hifas, en

cuyo interior viajan muchos núcleos por un citoplasma común, debido a que no hay paredes celulares; es decir; son cenocíticos (Kiers y van der Heijden, 2006), y se conocen más de 150 especies de hongos micorrízicos arbusculares. Basándose en los resultados obtenidos mediante el empleo de técnicas moleculares y su relación con la morfología de las esporas, se creó una nueva clasificación en la que se describen las características filogenéticas (Alarcón, 2007).

La micorriza arbuscular se reporta en más de 200 familias botánicas y más de 1000 géneros de plantas, distribuidas en el grupo de Briofitas, Pteridofitas, Angiospermas y Gimnospermas, dentro de las cuales se incluyen muchas especies de cultivos importantes en la agricultura, principalmente en gramíneas y leguminosas (Daniell *et al.*, 2001).

Durante su ciclo de vida, los HMA producen esporas que al germinar forman un micelio vegetativo y al hacer contacto con la superficie de la raíz se modifica en una protuberancia similar a una ventosa (apresorio), de donde surge la hifa que inicia la infección de los tejidos radicales (Reyes-Jaramillo, 2002).

Posteriormente, se forman hifas inter e intracelularmente en las células corticales, que se van ramificando probablemente para introducir los carbohidratos procedentes de la planta y dan el aspecto de diminutos árboles llamados arbusculos (Aguilera-Gómez *et al.*, 2008). Básicamente la morfología de los HMA se resume de la siguiente manera:

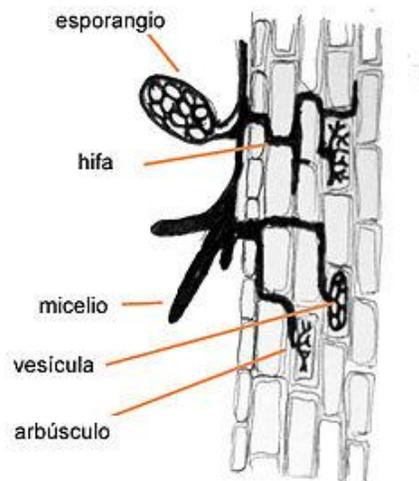
- **Arbúsculos.** Los HMA al ponerse en contacto con la raíz forman una estructura sobre las células epidérmicas vegetales conocida como “apresorio” y a partir de esta estructura se producen las hifas que penetran la epidermis radicular hasta llegar a la endodermis sin atravesarla, allí comienza su ramificación continua para formar los arbúsculos, cuya vida aproximada es de 1 a 3 semanas, después de lo cual se colapsa, y parte de él se reabsorbe hacia el citoplasma hifal y el resto de componentes permanecen en la célula rodeados por el plasmalema.

- **Vesículas.** Son estructuras de almacenamiento de los hongos, cuya formación de sustancias como lípidos es posterior a la de los arbúsculos y tiene lugar a partir del hinchamiento de una hifa generalmente terminal. Esta estructura principalmente en las especies del género *Glomus* puede llegar a engrosar sus paredes y convertirse en esporas.

- **Micelio externo o extramatricial.** Este micelio es componente importante en la simbiosis, y está formado por las hifas principales, gruesas y ramificadas dicotómicamente, así como por hifas también ramificadas, siendo las encargadas de la absorción del fósforo y otros nutrientes al proliferar en lugares donde las raíces no pueden acceder por sí mismas. Cuando el sustrato se agota, el citoplasma de las hifas finas se retrae hacia la hifa principal donde se forman septos. Este fenómeno puede ser un indicador de deficiente aireación y/o agotamiento de nutrientes del suelo, entre otros factores adversos.

- **Esporas.** Estas estructuras se forman sobre el micelio extramatricial y son órganos de reproducción asexual de los HMA, que presentan características propias constituyendo una estructura externa que permite el reconocimiento morfológico de

las especies de estos hongos, y miden de 20 a 1000  $\mu\text{m}$ , las cuales se pueden aislar del suelo cercano a raíces colonizadas (Varela y Trejo, 2001). Como criterios morfológicos de la espora se incluyen: color, textura, superficie, tamaño, forma, hifa que sostiene a la espora, contenidos y capas de la pared; así como procesos de germinación y formación de esporas, principalmente (Aguilera-Gómez *et al.*, 2008).



**Figura 1** Estructura morfológica de los hongos micorrízicos arbusculares (Escobar-Acevedo *et al.*, 2007).

En algunos casos las hifas se hinchan y forman vesículas ovoides que contienen lípidos o sustancias de reserva. Los tejidos de la raíz colonizados por el hongo son la epidermis y las células corticales, mientras que los meristemos y tejidos vasculares son resistentes a la colonización micorrízica (Reyes-Jaramillo, 2002). Estos hongos se han especializado en introducirse en las células corticales de la planta y en formar estructuras singulares para poder llevar a cabo su metabolismo. En cambio, en la rizosfera, las demás hifas se ramifican en la matriz del suelo (fase extraradical) explorando y adquiriendo macronutrientes y micronutrientes que son absorbidos y aprovechados por la planta hospedante (Aguilera-Gómez *et al.*, 2008).

Se conoce muy poco sobre el micelio extraradical de los HMA, en gran parte debido a la falta de transparencia (opacidad) del suelo y a la dificultad de diseñar experimentos que permitan estudiar su desarrollo sin tener que destruirlo (Mirabal *et al.*, 2002).

### **2.2.2 Interacción planta – hongos formadores de micorrizas arbusculares**

Las relaciones plantas-HFMA se basan en intercambio de señales de reconocimiento en las fases asimbiótica, presimbiótica, formación de apresorio, colonización y formación de arbusculos. La germinación de esporas y la ramificación y crecimiento de hifas germinativas es estimulada por compuestos volátiles de exudados de la raíz como el CO<sub>2</sub> (Bago *et al.*, 2000) y hormonas (Akiyama *et al.*, 2005; Hause *et al.*, 2007).

El establecimiento de una relación mutualista requiere reconocimiento y alta coordinación a nivel fisiológico, morfológico y genético, a partir de una permanente comunicación celular y molecular entre los organismos involucrados en la simbiosis (Parniske, 2004; Parniske, 2008), de tal forma que la planta permita el ingreso del HFMA, sin la invasión de otros organismos, lo que implica el desarrollo de estrategias sofisticadas para percibir y responder mediante respuestas de defensa de diferente intensidad, duración y localización (Dicke y Hilker, 2003). Cuando se forma la micorriza, se altera la fisiología y la exudación radical, lo que a su vez cambia la población circundante. Esto ha dado lugar a redefinir la rizosfera, zona de influencia directa de las raíces con la biología del suelo, denominado como micorrizosfera (Linderman, 1992). Además, el micelio extraradical que, en sí mismo

es un sustrato alimenticio para otros microorganismos, puede extenderse más allá de los nueve cm de la raíz, en contraste con los dos mm de rizosfera (bethlenfalvay, 1992), transfiriendo así compuestos de carbono y ampliando la esfera de influencia de la biota rizosferica a mayor distancia. Desde esta óptica la micorriza no solo contribuye en la nutrición de la planta, puesto que explora una mayor cantidad de suelo que el de la raíz, sino también contribuye a la nutrición del suelo en cuanto que incrementa la actividad microbiana (Bethlenfalvay y Linderman, 1992)

### **2.2.3 Papel de la micorriza arbuscular**

#### **2.2.3.1 Mecanismos de inducción de resistencia por micorrizas**

El efecto de protección de HFMA implica que no puede restringirse a beneficios nutricionales, ya que se han encontrado evidencias de acumulación de compuestos de defensa en plantas micorrizadas, aunque en menor proporción que con patógenos (Fritz *et al.*, 2006). Existiendo otros beneficios de la simbiosis como son la tolerancia de la planta a estrés biótico y abiótico, el mejoramiento de características físicas del suelo y el favorecimiento de diversificación de especies vegetales en ecosistemas (Smith y Read, 2008).

La inducción de protección de plantas por HFMA está relacionada con mejoramiento en nutrición, compensación del daño, competencia por fotosintatos o sitios de colonización, activación de mecanismos de defensa de plantas, cambios en arquitectura de la raíz y modificaciones en las poblaciones de organismos en la rizosfera, los cuales pueden actuar en forma simultánea y su eficiencia depende de

condiciones ambientales, tiempo de interacción y los organismos involucrados (Whipps, 2004), con efectos locales y sistémicos (Cordier *et al.*, 1998; Pozo *et al.*, 2002).

### **2.2.3.2 Factores bióticos**

#### **2.2.3.2.1 Enfermedades y plagas**

Aunque la investigación en las asociaciones micorrízicas se ha centrado principalmente en la absorción de nutrientes, existe evidencia de que los HMA también desempeñan un papel importante en el control de plagas y enfermedades agrícolas, en particular sobre enfermedades causadas por hongos patógenos principales habitantes del suelo (Borowicz, 2001). Para ello se establece que la asociación micorrízica cambia la estructura y fisiología de la planta a nivel radical (Newsham *et al.*, 1995) y provoca cambios en la comunidad de organismos patógenos del suelo, al disminuir sus poblaciones, la cantidad de sus propagulos infectivos y el grado de infección (Thomas *et al.*, 1994). Además, una planta que ha establecido una asociación con HMA es más resistente al ataque de los patógenos porque aumenta su estado nutrimental y se activan algunos mecanismos de defensa al sintetizar compuestos como ácido butírico, ácido ascórbico, etileno, arginina, isoflavonoides y fitoalexinas (Allen *et al.*, 1980; Azcón-Aguilar y Barea, 1997; Trotta *et al.*, 1996).

Los HMA provocan una mayor protección a las plantas hospederas contra el ataque de hongos patógenos que causan pudriciones de raíz como *Phytophthora*, *Aphanomyces*, *Pythium* y daños vasculares como *Fusarium* y *Verticillium* y a

nematodos fitoparásitos agalladores y lesionadores como *Meloidogyne* y *Pratylenchus* (Whipps, 2004). Los mecanismos por lo que esto ocurre pueden variar; por ejemplo, con la ocupación de un espacio (sitio de reconocimiento) en la raíz se logra un control más efectivo de la enfermedad cuando la colonización por parte de los HMA se lleva a cabo antes del ataque de los patógenos (Matsubara *et al.*, 2001; Sylvia y Chellemi, 2001). Otro mecanismo puede estar relacionado con cambios en los exudados radicales (Norman y Hooker, 2000), hecho que puede provocar cambios en las comunidades microbianas de la rizosfera y cambios en la estructura de la raíz de la planta hospedera (Vigo *et al.*, 2000; Yano *et al.*, 1996) o cambios bioquímicos en la raíz relacionados con mecanismos de defensa de la planta (Azcón-Aguilar y Barea, 1996; Gianinazzi-Pearson *et al.*, 1996).

Otro tipo de enfermedades que pueden ser suprimidas por los HMA incluyen las causadas por nemátodos patógenos (Jaizme-Vega *et al.*, 1997; Talavera *et al.*, 2001) y enfermedades fungosas foliares (West, 1995). El grado de control alcanzado varía entre especies (Estañol *et al.*, 1999; Gange *et al.*, 2003; Matsubara *et al.*, 2000) pudiendo ser el resultado de la especificidad enfermedad-planta. El efecto también puede estar mediado por la concentración de nutrientes del suelo, aunque no de forma predecible (Vicari *et al.*, 2002; Waceke *et al.*, 2002).

Las evaluaciones del aporte de los HFMA a la resistencia a enfermedades y plagas se han realizado con patógenos del suelo que afectan raíces como *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Verticillum*, *Phytophthora* y *Aphanomyces* (Whipps, 2004) o nemátodos (Li *et al.*, 2006), encontrándose que la eficiencia de los HFMA en el

mejoramiento de la resistencia/tolerancia difiere entre aislamientos; no es aplicable a todos los patógenos y es modulada por las condiciones ambientales (Whipps, 2004). Aunque existen pocos reportes de evaluación de enfermedades en la parte aérea de la planta, se observa que la simbiosis aumenta la susceptibilidad de la planta a patógenos biótrofos, virus (Shaul *et al.*, 1999), mildes polvosos y royas, pero esto no incide en acumulación de biomasa, ni en la producción de la planta (Whipps *et al.*, 2004). La micorrización reduce los síntomas causados por fitoplasmas; protege contra *Alternaria solani* en tomate (Fritz *et al.*, 2006) e incrementa resistencia a *Xanthomonas campestris* (Liu *et al.*, 2007) y *Pseudomonas syringae* (Pozo y Azcón-Aguilera, 2007) en *Medicago truncatula*.

Además, se ha observado efecto contra insectos plaga de raíz, pero el efecto en plagas foliares es muy variable y depende del hábito y grado de especialización del insecto, observándose reducción de incidencia de insectos masticadores e incremento en actividad de insectos chupadores (Gange, 2006).

Muchos estudios han mostrado efectos beneficios de la utilización de *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus clarum*, *Gigaspora gigantea*, y *Gigaspora margarita* en diversos cultivos, por mejoramiento de crecimiento, nutrición, toma de agua y resistencia a plagas (Guenoune *et al.*, 2001; Abdel-Fattah y Shabana 2002; Chandanie *et al.*, 2006; Hacısalihoglu *et al.*, 2005; Abdel-Fattah, *et al.*, 2011). El uso de HFMA en el control de enfermedades, se ha documentado para *Cylindrocladium*, *Fusarium*, *Macrophomina*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinium* y

*Verticillium* en diferentes hospederos (Harrier y Watson, 2004). En el caso de *Rhizoctonia*, se ha encontrado alteración en la expresión de cuatro genes durante la infección en frijol colonizado con *G. intraradices* variando la respuesta entre estimulación a supresión, de los niveles de transcripción (Guillon *et al.*, 2002)

Hu *et al.* (2010) reportan la participación de HFMA en control de enfermedades en pepino encontrando que inoculaciones con un aislamiento de *Glomus caledonium* no protegió a la planta de *Fusarium*, mientras que una mezcla de aislamientos mostró un alto potencial de control de la enfermedad, posiblemente debido a que una comunidad con múltiples especies o géneros, puede contener unos organismos especializados en procesos de nutrición, mientras que otros pueden estar más relacionados con procesos de tolerancia a estrés biótico / abiótico, o a procesos de bioremediación (Hu *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2007; Sharma *et al.*, 2009)

#### **2.2.3.2.2 Interacción con otros microorganismos del suelo**

Además de la interacción con organismos patógenos del suelo, los HMA también interactúan con otros microorganismos que viven en ese hábitat. Algunas cepas bacterianas promueven la germinación de esporas de HMA aumentando el ritmo y la longitud de colonización en la raíz (Johansson *et al.*, 2004). Una vez que la simbiosis micorrízica se ha desarrollado, la hifa de los HMA actúa en el suelo circundante, denominado micorrizósfera (Linderman, 1988), en donde también se desarrollan distintas comunidades microbianas (Andrade *et al.*, 1997). Dentro de la micorrizósfera los HMA interactúan con microorganismos benéficos como bacterias

promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), y bacterias fijadoras de nitrógeno (Biro *et al.*, 2000; Galleguillos *et al.*, 2000; Tsimilli-Michael *et al.*, 2000).

Un ejemplo muy importante de esta interacción es la influencia de los HMA en la simbiosis leguminosa-*Rhizobium* (Ibibijen *et al.*, 1996). Debido a que las leguminosas no presentan un sistema radical abundante, y que la fijación de N es un proceso que requiere grandes cantidades de energía para llevarse a cabo, estas plantas interactúan con los HMA para la fijación de éste elemento. Para esto, la colonización de raíces por HMA es estimulada por la bacteria y a la vez el hongo favorece la nodulación e incrementa el número de nódulos. Además, el contenido de P en los nódulos de plantas micorrizadas se incrementa (Azcón-Aguilar y Barea, 1992). Algunas investigaciones coinciden en que el aumento de la fijación de N en plantas micorrizadas se debe al incremento de la nutrición de P del hospedero; no obstante, esa hipótesis ha sido cuestionada con resultados opuestos presentados por Linderman (1992).

### **2.2.3.3 Factores abióticos**

#### **2.2.3.3.1 Concentración de fósforo en el suelo**

Así como se tienen respuestas positivas, existen cultivos que no responden a la colonización de HMA nativos (Ryan *et al.*, 2002), en la mayoría de los casos esto se debe a una elevada concentración de P disponible en el suelo (Sorensen *et al.*, 2005; Thingstrup *et al.*, 1998). Bajo estas condiciones, la colonización de las raíces por parte de los HMA es generalmente reducida (Al-Karaki, 2000; Kahiluoto *et al.*,

2001). Cuando ocurre un alto porcentaje de colonización junto con altas concentraciones de P, se reduce el crecimiento de los cultivos (Gavito y Varela, 1995b; Kahiluoto *et al.*, 2001), incluso en suelos donde la disponibilidad de P es baja, los cultivos pueden no responder a la colonización de HMA nativos (Ryan *et al.*, 2002) o a la inoculación externa (Sainz *et al.*, 1998), las causas por las cuales se presenta este comportamiento no son muy claras.

#### **2.2.3.3.2 Cambios en la asimilación de nutrimentos por la planta**

En muchos casos, los HMA causan un cambio en la asimilación de varios nutrientes que están siendo absorbidos por la planta al mismo tiempo, aunque el efecto sobre los diferentes nutrientes rara vez es el mismo (Kothari *et al.*, 1990; Menéndez *et al.*, 2001; Srivastava *et al.*, 2002). Por ejemplo, al incrementar los niveles de fertilización fosfatada en plantas micorrizadas y no micorrizadas de soya (*Glycine max* Mer.) y maíz (*Zea mays* L.), las concentraciones de Zn, Cu, Fe, Mn, K, Ca y Mg son menores en las plantas micorrizadas (Lambert *et al.*, 1979). En contraste, en frijol de palo (*Cajanus cajan*), se ha observado que la absorción y concentración de fósforo y zinc es mayor en plantas micorrizadas y a la vez fertilizadas con fósforo, en relación con plantas no micorrizadas a las que sólo se les aplica fertilización fosfatada. (Wellings *et al.*, 1991).

La colonización de HMA puede provocar el aumento de la absorción de un nutriente por parte de la planta hospedera, pero una reducción en la asimilación de otro (Kothari *et al.*, 1990): este efecto puede ser mediado por la concentración de otros

nutrientes del suelo (Liu *et al.*, 2000). Por ejemplo, una reducción en la absorción de manganeso (Mn) por parte de la planta hospedera tras ser colonizada por HMA es normalmente común, incluso cuando la absorción de otros nutrientes ha aumentado, debido a los cambios inducidos por los HMA en otros microorganismos rizosféricos, como la disminución de bacterias reductoras de manganeso e incremento de bacterias oxidantes de manganeso, lo que permite que las concentraciones de éste elemento disminuyan (Azaizeh *et al.*, 1995; Kothari *et al.*, 1991). También se ha encontrado que la absorción de P, Cu y Zn en plantas de maíz micorrizadas, es mayor que en plantas testigo: sin embargo, en nutrientes como K, Mn y Fe el efecto es opuesto. Este efecto se atribuye a la disminución de la rizosfera por la acción del fertilizante fosfatado (Kothari *et al.*, 1990).

#### **2.2.3.3.3 Especificidad en la relación hongo-planta**

La especificidad entre HMA y el tipo de planta no es del todo clara. Evidencias aparentemente contradictorias sobre el efecto de los HMA en la absorción de nutrientes por parte de las plantas han sido relacionadas al hecho de que hay un grado de selectividad entre la planta y el hongo, y que las diferentes especies de HMA tienen efectos diferentes sobre distintas especies de plantas, mismos que pueden ser fuertemente positivos en la absorción de nutrientes o bien fuertemente negativos en la promoción del crecimiento (Bever *et al.*, 2001; Munkvold *et al.*, 2004; O'Connor *et al.*, 2002; Van Der Heijden, 2002; Van Der Heijden *et al.*, 2003; Vandenkoornhuyse *et al.*, 2003).

#### **2.2.3.3.4 Estrés hídrico**

Algunos estudios reportan que los HMA previenen la formación de espacios grandes entre las raíces y el suelo, lo que mantiene la continuidad del líquido a través de la interface suelo-raíz (Augé, 2001; Augé, 2004). Además, las hifas extrarradicales incrementan la zona de captación de agua (Davies *et al.*, 2002; Querejeta *et al.*, 2003) e incluso pueden tomar agua del suelo cuando ésta se encuentra con un valor de potencial hídrico no accesible para ser extraído por las raíces de las plantas sin simbiosis micorrízica (Bethlenfalvay, 1992).

También se ha demostrado que las plantas micorrizadas sometidas a condiciones de déficit de agua se recuperan más rápidamente y resisten por más tiempo las condiciones de sequía (Augé, 2001), lo que permite un efecto sinérgico, que incrementa las probabilidades de establecer de nuevo la comunidad vegetal en un sitio perturbado. No obstante, los HMA sólo pueden aliviar el estrés hídrico moderado, y en condiciones de sequía severa son inefectivos (Bryla y Duniway, 1997; Ryan y Ash, 1996). En algunos casos los HMA parecen no incrementar la tolerancia a sequía (Bryla y Duniway, 1998; Ryan y Ash, 1996). Estas contradicciones aparentes pueden ser una vez más, el resultado de la especificidad planta-HMA (Davies *et al.*, 2002; Pande y Tarafdar, 2002).

#### **2.2.3.3.5 Estructura del suelo**

Los HMA tienen efecto sobre la estructura del suelo, lo que los hace muy importantes dentro de los agroecosistemas, donde los cultivos y los bajos niveles de materia orgánica del suelo, traen como resultado daños en la estructura del mismo. El efecto es en la formación de agregados del suelo, importantes en la conservación de las comunidades naturales. Las hifas extrarradicales de los HMA producen una glicoproteína llamada glomalina, que contribuye junto con la actividad de otros microorganismos del suelo, a la unión de partículas y con esto a la formación de agregados (Wright y Upadhyaya, 1998). Los agregados formados son estables al agua y de dimensiones mayores (20 a 200 mm diámetro) que las partículas originales, lo cual favorece la formación de microporos que retienen agua para prevenir deficiencias de humedad alrededor de la raíz en la época de secas y drenar eficientemente durante las lluvias (Wright y Upadhyaya, 1998). Algunos trabajos sugieren que la glomalina no siempre ejerce una fuerte influencia sobre la estabilidad de agregados del suelo (Borie *et al.*, 2000; Franzluebbers *et al.*, 2000; Wright y Upadhyaya, 1998).

#### **2.2.3.3.6 Influencia de las prácticas agrícolas sobre los HMA**

Actualmente la obtención de productos agrícolas, implica un elevado uso de insumos, y de prácticas que han traído consigo inestabilidad para los agroecosistemas (Altieri, 1992). Algunas manifestaciones de esto son la reducción o pérdida total de poblaciones de enemigos naturales para el control de plagas, la

pérdida de la fertilidad de los suelos, el surgimiento de nuevas plagas, la necesidad de usar niveles más altos de agroquímicos para mantener los rendimientos (Sans, 2007).

Se considera que las micorrizas son un agente estabilizador importante de los agroecosistemas y que el uso de algunas prácticas culturales puede afectar su funcionamiento adecuado dentro del agroecosistema, de tal forma que su efecto puede o no verse reflejado en los rendimientos. A continuación se analizan algunas de las prácticas agrícolas con mayor influencia en el desarrollo de los HMA.

#### **2.2.3.3.7 Labranza**

El efecto más importante de la labranza en el funcionamiento de la micorriza es el rompimiento de la red de micelio extraradical (Kurle, 1994) y la consecuente reducción de su infectividad. Experimentos en campo realizados por Vivekanadan y Fixen (1991) con el cultivo de maíz, indican que en suelo menos perturbado existe mayor colonización radical por HMA, más rendimiento de materia seca y menor respuesta al P agregado. Los mismos efectos han sido confirmados en invernadero donde tratamientos con suelo labrado en campo, mostraron un retraso en la colonización y una reducción del crecimiento y extensión radical (Evans y Miller, 1990; Jasper *et al.*, 1991); mientras que la reducción de la labranza aumentó la colonización y la asimilación de nutrientes de la planta.

Otro efecto es que la ruptura de la red de hifas de HMA, expone al suelo a la erosión, pues las hifas se inhabilitan para atrapar los microagregados del suelo (< 250  $\mu\text{m}$ ) y formar macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) que permiten la estabilidad física del suelo. El efecto real de la labranza sobre los HMA puede depender del tipo de suelo (Kabir *et al.*, 1998) y de la profundidad a la que se realice; entre más profunda sea la labranza, más se pueden enterrar los propagulos de HMA a niveles donde las raíces de plantas jóvenes no puedan acceder, retrasando con ello la colonización (Kabir, 2005).

Estudios sobre los efectos de la labranza (convencional y labranza cero), indican que la colonización y el número de esporas de HMA en raíces de maíz es mayor en el sistema de labranza cero aunque la eficiencia en la asimilación de P es mayor en el sistema de labranza convencional (Gálvez *et al.*, 2001; Miller, 2000).. Sin embargo, este efecto no ocurre en plantas de trigo (*Triticum vulgare*) las cuales son menos micotróficas que el maíz (Mozafar *et al.*, 2000). Por lo tanto la especie hospedera pudiera jugar un papel importante en la relación HMA labranza.

Aunque la labranza, en general, se considera como poco benéfica para la simbiosis micorrízica, ejerce una amplia gama de efectos sobre los agroecosistemas como son el aumento de la mineralización de N, aumento de la temperatura del suelo, reducción del número de malezas; por lo tanto, sus efectos, no siempre resultan en la reducción de la colonización micorrízica, la disminución en la asimilación de nutrientes y reducción del rendimiento en los cultivos (Gálvez *et al.*, 2001; Mozafar *et al.*, 2000).

#### **2.2.3.3.8 Fertilización**

Al existir una cantidad mayor de fósforo asimilable, en la planta la síntesis de la enzima fosfatasa decrece, al igual que el contenido de proteínas lectinas, bloqueando el desarrollo de la simbiosis micorrízica (Hayman, 1987). Sin embargo existen estudios que reportan una alta colonización en suelos que contienen una gran cantidad de P disponible, e inclusive algunos reportan una aparente insensibilidad de los HMA a la aplicación de fertilizantes fosfatados (Ryan y Ash, 1999; Vosatka, 1995). Kahiluoto *et al.*, (2001) reportaron que en varios cultivos, el porcentaje de colonización micorrízica y la diversidad de esporas de HMA disminuyeron al incrementar los niveles de P en el suelo. Por otra parte Johnson (1993), reporta que la fertilización también puede influenciar sobre la selección de especies de HMA menos eficientes, debido a que las especies de estos hongos en suelos altamente fertilizados proveen menos nutrientes a la planta hospedera y almacenan menor cantidad de carbohidratos.

El uso de otro tipo de fertilizantes fácilmente solubles, en particular los fertilizantes nitrogenados, ha mostrado, en algunos casos, tener un impacto negativo sobre la colonización y/o la diversidad de especies de HMA. Tal es el caso de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) donde la colonización de HMA decrece al incrementar los niveles de fertilizante nitrogenado en el suelo (Miller y Jackson, 1998a). Así mismo, la abundancia de HMA disminuye en los suelos con niveles de fertilizantes nitrogenados elevados (Treseder y Allen, 2002).

Algunos biofertilizantes de fuente orgánica (estiércol de granja, compostas, residuos de cosechas), y ciertos abonos de lenta liberación de minerales (roca fosfórica) estimulan el desarrollo de la micorriza arbuscular (Alloush y Clark, 2001; Joner, 2000; Kabir *et al.*, 1998; Miller y Jackson, 1998b). En contraste, el uso excesivo de fertilizantes orgánicos, con alto contenido de P, como el estiércol de pollo, puede tener efectos negativos sobre algunas especies de HMA, pues a niveles altos de P, se incrementa la concentración de fosfolípidos en la membrana vegetal, lo que conduce a una menor exudación radical y trae como consecuencia una disminución en el desarrollo de la simbiosis micorrízica (Douds *et al.*, 1997).

#### **2.2.3.3.9 Plaguicidas**

El efecto de los plaguicidas sobre la asociación micorrízica es complejo, contrastante y no fácilmente predecible, e incluso, es difícil interpretar el efecto de algunos de éstos como los fungicidas y nematicidas (Schreiner y Bethlenfalvay, 1997) de los cuales se hace mención en los párrafos siguientes.

Por ejemplo Sreenivasa y Bagyaraj (1989) al probar los efectos de nueve fungicidas sobre el hongo *Glomus fasciculatum* en pasto Rhodes (*Chloris gayana*), encontraron que al aplicar dosis comerciales, todos los fungicidas redujeron la colonización entre un 12 y 25 % y la producción de esporas entre 19 y 25 %. Posteriormente Udaiyan *et al.* (1999) reportaron un efecto similar de los insecticidas furadan y termix en tres especies de mijo (*Eleusine coracana*, *Panicum miliaceum* y *Paspalum*

*scrobiculatum*). En contraste, el captan (N-(trichloromethylthio) cyclohex-4-ene-1,2-dicarboximide) y el metalaxyl (methyl N-(methoxyacetyl)-N-(2,6-xylyl)-DL-alaninate) produjeron un incremento en los valores de los parámetros mencionados (Hwang *et al.*, 1993). Los fungicidas Terrazole (5-ethoxy-3-trichloromethyl-1,2,4-thiadiazole) y Terraclor (pentachloronitrobenzene), redujeron la colonización micorrízica en algodón (*Gossypium hirsutum*), sin embargo, el efecto fue transitorio ya que después de seis semanas se observó colonización (Pattinson *et al.*, 1997). Algunos fungicidas de uso reciente y considerados de bajo riesgo como el azoxystrobin (methyl (E)-2--3-methoxyacrylate) y kresoxim-methyl (methyl (E)-methoxyimino[a-(otolyloxy)- o-tolyl]acetate) han sido evaluados para determinar su efecto sobre los HMA, encontrando que estos inhiben completamente la colonización micorrízica en plantas de maíz (*Zea mays*) (Diedhiou *et al.*, 2004).

Además de los fungicidas, el efecto de otros plaguicidas sobre el desarrollo de la simbiosis micorrízica también se ha estudiado. Sreenivasa y Bagyaraj (1989) reportan que los nematicidas, reducen la colonización y la producción de esporas en pasto Rhodes, aplicando la dosis comercial recomendada; sin embargo, al aplicar la mitad de la dosis, la esporulación y la colonización se incrementan.

### **2.3 Composta**

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando fases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los

residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es:

- a) una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables. El calor generado durante el proceso (fase termófila) destruye las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.
- b) una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factor de estabilidad y fertilidad del suelo.
- c) el resultado de una actividad biológica compleja, realizado en condiciones particulares; el compostaje no es, por tanto, un único proceso. Es, en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

El producto obtenido al final de un proceso de compostaje, la composta, posee un importante contenido en materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como abono orgánico o como sustrato.

### **2.3.1 Efecto de la aplicación de composta**

La utilización de composta en la agricultura es de suma importancia, ya que aporta al suelo materia orgánica y otros elementos esenciales para las plantas; mejora la estructura del suelo y reduce la erosión. Logra una mayor retención de agua, evita la pérdida de elementos fertilizantes y facilita el laboreo; además, como parte

importante, estimula la actividad de los microorganismos, favoreciendo la fertilidad del suelo y el desarrollo vegetal. La composta, como se ha mencionado, aporta beneficios al suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Aportes de la composta (residuos de hortalizas) al suelo SAGARPA b (2013)

Materia Orgánica Total	Humedad	Capacidad de Retención de Agua	Densidad Aparente	Salinidad CE 1:5 25°C (mS/cm)	pH	Relación C/N	CIC (meq/100g)
35-50 %	30-40 %	40-50 %	0.4-0.7g/cc	4-6	7-7.5	<15-20	23-32

Cuadro 1.1 Aportes de nutrimentos al suelo por la composta SAGARPA b (2013)

Fosforo (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (% K <sub>2</sub> O)	Calcio (% CaO)	Magnesio (% MagO)	Sodio (% N <sub>i</sub> )	Manganeso (ppm)	Boro (ppm)	Hierro (% Fe)
1-2 %	0.2-0.8	6-15	0.2-0.24	1.4-2.6	1.4-2.6	100-500	25-57

La producción de composta en la actualidad es manejada como una estrategia para la disminución de residuos más que para la obtención de un posible mejorador de suelo.

Diferentes estudios han demostrado la eficacia del uso de composta para mejorar el crecimiento de diferentes cultivos, entre estos trabajos se puede citar el de Chang *et al.* (2007), los cuales mencionan que las dosis de aplicación óptimas al año para cultivos intensivos de hortaliza en invernadero, son alrededor de 540 kg·ha<sup>-1</sup>, no obteniendo mejores rendimientos para dosis superiores. Estas dosis propuestas parecen altas, pero hemos de considerar que la tasa de mineralización de un compost no supera usualmente el 10 % del N total.

Diman *et al.* (2005) demostraron que la composta generada de residuos sólidos urbanos puede ser empleada con el fin de mejorar las características de suelos pobres para cultivos, reportando mejores resultados en la germinación y crecimiento de frijol y tomate en comparación con el uso de fertilizantes químicos.

### **2.3.2 Beneficios del uso de la composta**

- 1) Útil para reducir, reutilizar y reciclar los residuos orgánicos.
- 2) Se devuelve material valioso a la naturaleza aceleradamente.
- 3) Ayuda a aumentar la fertilidad del suelo y a mejorar la salud de las plantas.
- 4) Reduce la necesidad de espacios en sistemas de relleno sanitario.
- 5) Disminuye la utilización de fertilizantes químicos.
- 6) Aumenta la capacidad de los suelos para retener agua y nutrientes.
- 7) Previene la compactación y erosión del suelo.

La composta contiene concentraciones variables de nitrógeno, potasio y fósforo. Pero menores a las contenidas en los fertilizantes inorgánicos. La composta por su naturaleza de elaboración contiene propagulos de HMA en cantidades variables debido a su proceso de elaboración.

### **2.3.3 Interacción composta-micorriza**

Otro aspecto a destacar es la composición de los sustratos de crecimiento, ya sea un solo componente o la mezcla de varios (Gonzales-Chávez *et al.*, 1995). Existen reportes del efecto positivo de la micorriza arbuscular en conjunto con materia orgánica aplicada como composta o simplemente como estiércol o residuos de

cosecha, en el desarrollo de las plantas (Saiz, 1986; Sieverding, 1991 Velasco-Velasco. J. *Et al.*, 2001). En este sentido, el uso de altos niveles de materia orgánica podría actuar como inhibidor del efecto benéfico de la simbiosis (Sieverding., 1991; Alarcon y Ferrera-Cerrato, 1995) por lo anterior es recomendable utilizar dosis mínimas, de modo que se establezca un efecto sinérgico entre materia orgánica y endófitos micorrizicos (Aguas *et al.*, 1995; Alarcon y Ferrera-Cerrato, 1995; Quiñones *et al.*, 1995; Manjarrez *et al.*, 1996; 1997; 1998; Shah-Gardizi. 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del experimento

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

El terreno del invernadero se encuentra a 2,250 msnm y 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. La presente investigación se llevó a cabo, durante el periodo comprendido del 01 de abril al 02 de octubre de 2012.

#### 3.2 Variedades

Las variedades de calabacita híbridas empleadas fueron: Termo (tipo gray Zucchini) y Star (tipo round zucchini), ambas de la especie *Cucurbita pepo*, esta es una planta anual, herbácea, rastrera, trepadora y de crecimiento precoz (Villanueva, 2007). Dichas variedades fueron evaluadas y estudiadas previamente por otros.

Cuadro 2 Diversos caracteres de calabacita variedad Termo evaluados por Sanchez H. C. 2004 (variedad Termo) y Segura R. V. 2008 (Variedad Star)

<b>VARIEDAD</b>	<b>RPP g.planta<sup>-1</sup></b>	<b>FPP número</b>	<b>LFR -----Cm-----</b>	<b>AFR</b>	<b>DFP -----Días-----</b>	<b>DFM</b>	<b>RHA t·ha<sup>-1</sup></b>
<b>Star</b>	1092	19	5.5	5.6	58	60	68.2
<b>Termo</b>	799.9	17.5	13.5	4.4	54	56	50

### 3.3 Siembra y trasplante

Las semillas de los híbridos experimentales de calabacita denominados “Star” y “Termo”, fueron sembradas el 28 de abril del 2012 en charolas de “unicel” (polipropileno) de 200 cavidades con turba como sustrato para la obtención de plantulas. Después de veinte días se procedió a extraer la plantula para ser trasplantada en camas de 120 cm de ancho y 50 cm de profundidad y como sustrato se empleó tezontle fino (espuma volcánica).

Se colocó acolchado plástico color negro y dos cintillas de goteo separadas a 50 cm con goteros a 30 cm. A cada orificio de trasplante realizado, se agregaron 720 g de composta y esta se mezcló con parte del sustrato a fin de favorecer la simbiosis micobionte.planta (Shah 2011). Se emplearon las siguientes cepas de micorrizas: Horti Plus<sup>®</sup>, Spectrum<sup>®</sup>, Micofos<sup>®</sup> y la cepa experimental *Glomus mosseae* aislada en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillos y éstas fueron aplicadas al cepellón al momento del trasplante y la dosis aplicada fue obtenida de la ficha técnica de cada cepa.

La densidad de población fue de 39, 500 plantas·ha dispuestas en camas de 120 cm de ancho y 30 cm de profundidad con dos hileras (surcos) separadas a 50 cm y 30 cm entre plantas, y se utilizó rafia tomatera para el tutoreo.

La unidad experimental (U.E.) fue de dos hileras de 5 plantas a fin de tener 10 plantas por U.E. La polinización se realizó con ayuda de abejorros.

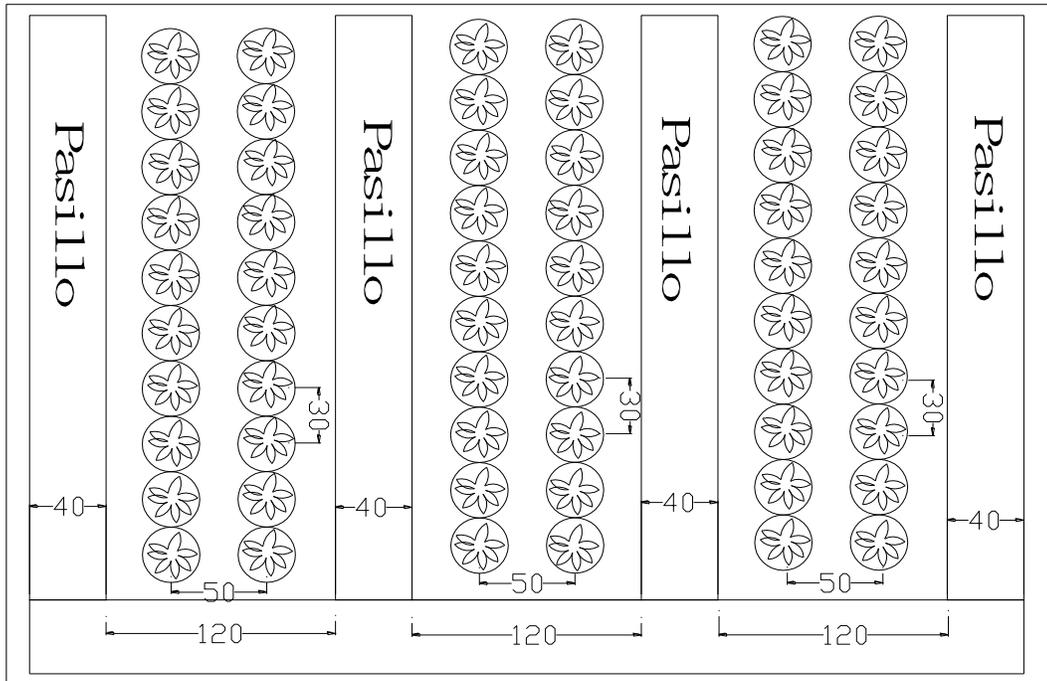


Figura 2. Arreglo topológico de las plantas de calabacita en invernadero.

### 3.4 Diseño de tratamientos evaluados

El experimento se realizó en condiciones de hidroponía en invernadero, con dos variedades híbridas experimentales de calabacita, llamadas Termo y Star, del Programa de Mejoramiento Genético de Calabazas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (4x2; cepas micorrízicas x variedad) más un testigo por variedad (Testigo: variedad Star + Sin inoculación y Testigo 2: variedad Termo + Sin inoculación), con cuatro repeticiones, dando un total de 40 U.E.

Los niveles de variedad fueron “Termo” y “Star” y los de micorriza fueron las cepas

micorrízicas: Micofos<sup>®</sup>, Spectrum<sup>®</sup>, Hortic Plus<sup>®</sup> y la cepa *Glomus mosseae* aislada en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillo.

**Cuadro 3.** Tratamientos del experimento como combinaciones de dos variedades de calabacita con cuatro cepas micorrízicas en hidroponía en invernadero.

Tratamiento	Variedad	Composta (g·planta <sup>-1</sup> )	Cepa	¥Dosis de cepa micorrízica·ha <sup>-1</sup>	Momento de inoculación
1	Star	720	Hortic Plus <sup>®</sup>	8 kg	Trasplante
2	Star	720	<i>G. mosseae</i>	5 kg	Trasplante
3	Star	720	Spectrum <sup>®</sup>	4 kg	Trasplante
4	Star	720	Micofos <sup>®</sup>	500 ml	Trasplante
5	Star	720	Testigo 1	0.0	----
6	Termo	720	Hortic Plus <sup>®</sup>	8 kg	Trasplante
7	Termo	720	<i>G. mosseae</i>	5 kg.	Trasplante
8	Termo	720	Spectrum <sup>®</sup>	4 kg	Trasplante
9	Termo	720	Micofos <sup>®</sup>	500 ml	Trasplante
10	Termo	720	Testigo 2	0.0	----

¥Dosis obtenidas de la ficha técnica para cada cepa.

### 3.5 Inoculación al trasplante

La aplicación al trasplante, es el método más recomendado para inocular los hongos micorrízicos arbusculares y ectomicorrízicos. 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).

### 3.6 Variables de estudio

**Número total de frutos por planta (NF123).** Acumulados en 34 cortes.

**Número de frutos de primera segunda y tercera calidad por planta (NF1, NF2 y NF3).** Acumulados en 34 cortes. La calidad se determinó mediante la norma oficial mexicana NMX-FF-020-1982 de productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca calabacita - (cucurbita pepo).

**Peso total de frutos por planta (PF123).** Acumulado de las tres calidades en 34 cortes.

**Peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad por planta (PF1, PF2 y PF3).** Se registró como el peso total acumulado por planta en 34 cortes realizados.

**Rendimiento por hectárea (Rha; t·ha<sup>-1</sup>).** Se obtuvieron los pesos promedio de los frutos de todos los cortes de calabacita realizados y se expresó en t·ha<sup>-1</sup>, considerando una densidad de población de 39,500 plantas·ha<sup>-1</sup>.

**Días a floración femenina (DFF).** Número de días acumulados a partir del primer riego después de la siembra, hasta que el 50 % de las plantas de la parcela experimental habían abierto su primera flor femenina.

**Días a floración masculina (DFM).** Número de días acumulados a partir del primer riego hasta que el 50 % de las plantas de la parcela experimental habían llegado a antesis en su primera flor masculina.

**Porcentaje de colonización micorrizica (Pcol).** Al término del cultivo, se extrajeron 40 plantas para la determinación del porcentaje de colonización (una

por cada unidad experimental), a cada raíz se le cortaron y pesaron 5 g y se almacenaron en alcohol hasta la evaluación del porcentaje de colonización micorrizica por el método de Phillips y Hayman 1970, que consiste en coloración de las raíces y su observación al microscopio.

Método para la determinación de la presencia de ciertas estructuras del hongo: vesículas, hifas, arbuscúlos y su relación dentro de la raíz. El método consistió en efectuar el procedimiento de tinción de raíces; montar las raíces teñidas en portaobjetos y evaluar al microscopio óptico el porcentaje de estructuras de la micorriza.

### 3.7 Riego y solución nutritiva

El riego fue mediante dos cintillas de goteo a 50 cm de separación por cama y 30 cm entre goteros, realizándose tres riegos diarios con la solución nutritiva (9:00, 12:00 y 15:00 horas) con duración aproximada de 30 min por riego. Se utilizó la solución universal de Steiner (1984), modificada por Pérez y Castro (1999), (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.

<b>FUENTE</b>	<b>FÓRMULA QUÍMICA</b>	<b>DOSIS</b>
Acido fosfórico	$H_3PO_4$	110.0 mL
Sulfato de potasio	$K_2SO_4$	287.23 g
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 + H_2O$	264 g
Nitrato de potasio	$KNO_3$	333.3 g
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	1168.0 g
Sulfato ferroso	$Fe SO_4 + H_2O$	55
Sulfato de manganeso	$Mg SO_4 \cdot 4H_2O$	11
Sulfato de zinc	$Zn SO_4 + H_2O$	5.5 g
Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5.5 g
Bórax	$Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O$	11

Fuente: Pérez y Castro (1999).

### **3.8 Determinación del porcentaje de colonización (endomycorrizas)**

Los hongos micorrízicos arbusculares a diferencia de las ectomicorizas, no producen cambios visibles en la morfología de la raíz de sus hospedantes. Su presencia puede ser detectada mediante observaciones al microscopio óptico. En el suelo los hongos formadores de esta simbiosis, presentan una extensa red de hifas que favorecen la absorción de nutrimentos y agua (Bago *et al.*, 1988, 2000 a). Este micelio puede formar estructuras reproductivas microscópicas que favorecen la propagación de los hongos y están libres o agrupadas (Declerck *et al.*, 2000). Una vez que la hifa del hongo penetra la raíz, ésta crece a lo largo del tejido radical y llega a formar estructuras típicas de esta simbiosis: 1) hifas inter e intracelulares; 2) arbusculos que facilitan el intercambio bidireccional de nutrimentos entre la asociación hongo-planta; 3) vesículas que almacenan reservas para el hongo; 4) enrollamientos hifales y 5) esporas simples o esporocárpicas en el suelo, aunque en algunas especies pueden esporular dentro de la raíz (Bago *et al.*, 2000 b)

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.

### **3.8.1 Tinción de raíces**

El método de Phillips y Haymann (1970) comprende:

- a) Clareo. Las raíces libres de suelo se colocaron en capsulas esterilizables, en un vaso de precipitados al que se agrega suficiente KOH al 10 % para cubrirlas y se procede a calentar durante 10 min bajo 10 libras de presión.
- b) Blanqueo. Se retiró el KOH y las capsulas con las raíces se enjuagaron con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10 % en suficiente cantidad para que cubra las raíces durante tres minutos, pasado este tiempo se procedió a enjuagar con ayuda de una pipeta y aplicando agua destilada.
- c) Acidificación. Las raíces se cubrieron con HCl al 10 % por tres minutos, se eliminó el ácido y sin enjuagar se procedió a la tinción.
- d) Tinción. Las capsulas que contenían las raíces se cubrieron con la solución colorante (azul tripano 0.05 % en lactoglicerol) y se calentaron por 10 min a 10 libras de presión.
- e) Decoloración. El colorante se eliminó y se decoloraron las raíces con lactoglicerol.

### **3.8.2 Montaje de las raíces teñidas**

Las raíces teñidas se “montan” en portaobjetos:

- a) En un portaobjeto y con agujas de disección se colocaron 20 segmentos de raíz con un grosor inferior a 0.5 mm y 1 cm de longitud aproximadamente. En forma paralela una de otra.
- b) Sobre las raíces se adicionaron gotas de lactoglicerol y se colocó el cubreobjetos.
- c) Se eliminaron las burbujas y cada laminilla se selló con esmalte de uñas claro.

### 3.8.3 Porcentaje de colonización micorrízica

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:

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

### 3.9 Análisis estadístico

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

#### 3.9.1 Análisis de varianza factorial

El experimento se planeó como factorial, donde los tratamientos se diseñaron como combinaciones de dos niveles del factor variedad (Star y Termo) y cuatro niveles del factor cepa micorrízicas (Micofos<sup>®</sup>, Spectrum<sup>®</sup>, Horti Plus<sup>®</sup>, la cepa *Glomus mosseae* aislada en el Colegio de Posgraduados Campus Montecillos) más un testigo. El modelo fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + B_j + V_k + M_l + (V \times M)_{kl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

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

$\mu$  = media general del experimento, en cada variable.

$C_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$V_k$  = Efecto de la  $k$ -ésimo variedad.

$M_l$  = Efecto de la  $l$ -ésimo cepa micorrízica.

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

$\varepsilon_{ijkl}$  = Error experimental asociado a la observación  $ijkl$ .

### 1.9.2 Análisis de varianza (no factorial)

Se plantea análisis no factorial a fin de obtener comparaciones entre el total de los tratamientos (ocho tratamientos entre combinaciones más un testigos para cada una de las variedades). El modelo experimental fue:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = respuesta en la  $i$ -ésimo tratamiento, en el  $j$ -ésimo bloque.

$\mu$  = media general del experimento, en cada variable.

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a la observación  $ij$ .

### 3.9.3 Comparaciones múltiples de medias

Las medias de tratamientos y los niveles de los factores variedad y cepa micorrízica fueron comparadas mediante la prueba de Tukey, tanto en el análisis del experimento factorial como en el no factorial. La diferencia mínima significativa se

calculó de la siguiente fórmula: 
$$DMS = [q_{\alpha}(v_1, v_2)] \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

$[q_{\alpha}(v_1, v_2)]$  = Cuantil para la prueba de *Tukey* con un nivel de significancia  $\alpha$  y con  $v_1$  y  $v_2$  grados de libertad.

$v_1$  = Grados de libertad de tratamientos.

$v_2$  = Grados de libertad del error en el análisis de varianza.

CME = Cuadrado medio del error en el análisis de varianza.

$r$  = Número de repeticiones.

### 3.9.4 Análisis de correlación entre variables

Las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas, se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Dónde:

r= representa el coeficiente de correlación lineal para una muestra.

n=representa el número de pares de datos presentes.

$\Sigma$ =denota la suma de los elementos indicados

$\Sigma x$ =denota la suma de todos los puntajes x.

$\Sigma x^2$  =denota que cada puntaje de x se debe elevar al cuadrado y luego todos esos cuadrados deben sumarse.

$(\Sigma x)^2$ =indica que los puntajes x deben sumarse y el total debe elevarse al cuadrado. Es extremadamente importante no confundir  $\Sigma x^2$  con  $(\Sigma x)^2$ .

$\Sigma xy$ = indica que cada puntaje x primero debe multiplicarse por el puntaje y correspondiente. Después de obtenerse todos los productos, se suman.

Una de las medidas más comúnmente usadas de correlación es la correlación del momento del producto Pearson o el coeficiente de correlación Pearson. Se mide usando la fórmula,

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

El valor del coeficiente de correlación Pearson varía desde -1 a +1 donde -1 indica una correlación negativa fuerte y +1 indica una correlación positiva fuerte.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de varianza factorial

Hubo diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre variedades (V) para rendimiento por hectárea (Rha), peso total de frutos (PF123), peso de fruto de primera calidad (PF1), peso de fruto de segunda calidad (PF2), número total de frutos (NF123), número de frutos de primera calidad (NF1) y número de frutos de segunda calidad (NF2) y no hubo diferencia estadística significativa entre variedades para peso y número de frutos de tercera calidad y porcentaje de colonización micorrízica (Pcol) (Cuadros 5 y 6). Ha de mencionarse que los frutos de tercera calidad presentan dificultades para su comercialización además de precios inferiores si se comparan con los frutos de primera y segunda calidad por lo que es deseable que la cantidad de estos sea mínima o nula.

Hubo diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre cepas (C) para Rha, PF123, PF1, PF3, NF123, NF1, NF3 y Pcol (Cuadros 5 y 6), indicando que al menos una de las cepas micorrízicas fue superior; sin embargo PF2 y NF2 fueron estadísticamente iguales para el factor cepa.

La interacción variedad x cepa micorrízica no fue significativa para ninguna de las variables (Cuadros 5 y 6). Lo anterior no significa que no exista interacción, si no que no fue significativa ( $p \leq 0.01$ ) (Figuras 1, 2, 3), y que es probable que el nivel de significancia pueda aumentar o disminuir si se modifican los niveles aquí empleados ya que la especificidad entre hongos micorrizicos arbusculares (HMA) y el tipo de planta no es del todo clara, y evidencias aparentemente contradictorias sobre el

efecto de los HMA en la absorción de nutrientes indican que pueden ser fuertemente positivos en la absorción de nutrientes o bien fuertemente negativos en la promoción del crecimiento (Bever *et al.*, 2001; Munkvold *et al.*, 2004; O'Connor *et al.*, 2002; Van Der Heijden, 2002; Van Der Heijden *et al.*, 2003; Vandenkoornhuyse *et al.*, 2003).

Es importante recordar que la infectividad (porcentaje de colonización de la raíz por la micorriza) no puede tomarse como sinónimo de efectividad (incremento de crecimiento, calidad, tolerancia a estrés biótico y/o abiótico, entre otros), ya que se presenta diferencia estadística en el factor cepa para rendimiento y sus componentes, pero no se presenta diferencia estadística significativa para porcentaje de colonización micorrízica.

No se presentó diferencia significativa entre variedades y cepas micorrízicas ( $p \leq 0.01$ ) para días a floración femenina y masculina (DFM y DFF). Por lo que no se puede hablar de precocidad de alguna de las variables o por la aplicación de alguna de las cepas micorrízicas, la interacción variedad x cepa micorrízica tampoco mostro diferencia estadística en cuanto a DFF y DFM. Las variables Rha, PF123, PF1 y PF2 presentaron un coeficiente de variación (CV) entre 9.29 y 21.09 %, (Cuadro 5)

El promedio general de tratamientos y repeticiones obtenido en el experimento para número total de frutos (NF123), fue de 28.60 frutos·planta<sup>-1</sup> (acumulado en 34 cortes); de los cuales 22.69 frutos·planta<sup>-1</sup> (79.33 %) fueron de primera calidad (NF1;), 5.27 frutos (18.4 %) de segunda calidad (NF2) y 0.64 frutos (2.2 %) de calabacita de tercera calidad (Cuadro 6). La proporción encontrada para frutos por

calidad es muy buena, ya que los frutos de segunda y tercera representan apenas el 18.42 y 2.23 % respectivamente del total de frutos.

Las variables Rha y PF123 presentaron un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.69 en ambos casos; mientras que en PF1 fue de 0.56, PF2 y PF3 es de 0.67 (Cuadro 5), indicando el nivel de precisión con el que el modelo explicó al fenómeno estudiado.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza (factorial) para cinco caracteres de calabacita (rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Rha</b> <b>(t.ha-1)</b>	<b>PF123</b> -----	<b>PF1</b> -----	<b>PF2</b> -----	<b>PF3</b> -----
			<b>Kg-planta</b> -----			
<b>V</b>	1	4290.496611 **	2.74987766**	0.74442518 *	0.61739935 **	0.00009462 ns
<b>C</b>	3	865.224403*	0.55454216 *	0.30261359*	0.04921501 ns	0.00176933 *
<b>VxC</b>	3	101.972032 ns	0.06535621 ns	0.07234835 ns	0.00143743 ns	0.00002483 ns
<b>Blo</b>	3	36.332622 ns	0.02328641 ns	0.02388073 ns	0.00469907 ns	0.00079269 ns
<b>Error</b>	21	155.11901	0.09941933	0.07152913	0.01797153	0.00018005
<b>Total</b>	31	--	--	--	--	--
<b>CV%</b>	--	9.296321	9.296321	9.783261	21.09467	59.62756
<b>Media</b>	--	133.9743	3.391754	2.733744	0.635506	0.022504
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.691483	0.691483	0.563728	0.674893	0.675059

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, V: variedad, C: cepas micorrízicas, VxC: interacción variedad x cepas micorrízicas, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación, Media: media general del experimento,  $R^2$ : coeficiente de determinación. Rha: rendimiento por hectárea, PF123: pesó total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, \*: Estadísticamente significativo. \*\*: altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). ns: no significativo

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza (factorial) para cuatro caracteres de calabacita (calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>NF123</b>	<b>NF1</b>	<b>NF2</b>	<b>NF3</b>	<b>Pcol</b>
-----Frutos·planta-----						<b>(%)</b>
<b>V</b>	1	203.01125 **	53.3028125 *	44.4153125 **	0.08 ns	205.031 ns
<b>C</b>	3	24.44375 *	11.20864583 *	2.52197917 ns	0.45875 *	1167.281 *
<b>VxC</b>	3	5.80375 ns	5.47864583 ns	0.1503125 ns	0.01916667 ns	230.031 ns
<b>Blo</b>	3	4.0070833 ns	2.86864583 ns	0.77447917 ns	0.67708333 *	322.6979ns
<b>Error</b>	21	3.5773214	3.4712649	1.09566964	0.10922619	135.1026
<b>Total</b>	31	--	--	--	--	--
<b>CV %</b>	--	6.611775	8.211026	19.85522	51.33885	16.33499
<b>Media</b>	--	28.60625	22.69063	5.271875	0.64375	71.15625
<b>R2</b>	--	0.802772	0.605681	0.704119	0.607151	0.654099

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, V: variedad, C: Cepas micorrízicas, VxC: interacción variedad x cepa Micorrízicas Blo: bloques, CV: coeficiente de variación. Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. NF123; número total de frutos. NF1, NF2 y NF3; número de frutos de primera, segunda y tercera calidad, \*: estadísticamente significativo. \*\*: altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). ns; no significativo

#### 4.2 Análisis de varianza (no factorial)

En el análisis que incluyó a los testigos (no factorial), se presentaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre los tratamientos para las variables rendimiento por hectárea (RHA; t·ha<sup>-1</sup>), peso total de frutos (PF123; kg·planta<sup>-1</sup>), peso de fruto de primera, segunda y tercera calidad (PF1, PF2 y PF3; kg·planta<sup>-1</sup>), número total de frutos (NF123; frutos·planta<sup>-1</sup>), número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (NF1, NF2 y NF3; frutos·planta<sup>-1</sup>) y porcentaje de colonización micorrízica (Pcol) (Cuadros 8 y 9); lo cual indica que al menos uno de los tratamientos fue superior.

El promedio general de tratamientos y repeticiones obtenido en el experimento para número total de frutos (NF123), fue de 27.45 frutos-planta<sup>-1</sup>; de los cuales 21.92 fruto-planta<sup>-1</sup> fueron de primera calidad (NF1), 4.97 frutos de segunda calidad por planta<sup>-1</sup> (NF2) y 0.565 frutos de calabacita de tercera calidad. La proporción encontrada para frutos por calidad es muy buena, ya que los frutos de segunda y tercera representan apenas el 18.11 y 2.16 % respectivamente del total de frutos siendo 79.73 % frutos de primera calidad. Las variables Rha y PF123, PF1, PF2 y PF3 presentaron un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) entre 0.77 y 0.68 en ambos casos. Las variables calidad y sus componentes presentaron un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) entre 0.59-0.79 (Cuadros 7 y 8). Rendimiento, calidad y sus respectivos componentes presentaron coeficientes de determinación que indican el nivel de precisión con el que el modelo explicó al fenómeno estudiado.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza (no factorial) para cinco caracteres de calabacita (rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía en invernadero, Chapingo 2012.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Rha</b> (t.ha <sup>-1</sup> )	<b>PF123</b> -----	<b>PF1</b> kg·Planta <sup>-1</sup> -----	<b>PF2</b>	<b>PF3</b>
<b>TRAT</b>	9	1596.97545 **	1.02353818 **	0.46615164 **	0.12727703 **	0.00081205 *
<b>Blo</b>	3	40.56136 ns	0.02599671 ns	0.0346396 ns	0.00556118 ns	0.00074593 *
<b>Error</b>	27	153.62948	0.09846466	0.07406777	0.01598367	0.00014974
<b>Total</b>	39	--	--	--	--	--
<b>CV %</b>	--	9.727638	9.727638	10.41248	21.32282	63.99529
<b>Media</b>	--	127.4177	3.225765	2.613728	0.592917	0.019121
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.777497	0.777497	0.682522	0.729215	0.702492

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, Trat: tratamiento, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación. Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. Rha: rendimiento por hectárea (t·ha<sup>-1</sup>), PF123: peso total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, \*: estadísticamente significativo. \*\*: altamente significativo (p ≤ 0.01). ns: no significativo

Cuadro 8. Cuadrados medios del análisis de varianza (no factorial) para cinco caracteres de calabacita (calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles de cepa micorrízica y variedad en invernadero, Chapingo 2012.

FV	GL	kg·Planta <sup>-1</sup>				Pcol (%)
		NF123	NF1	NF2	NF3	
<b>TRAT</b>	9	57.9361389 **	22.2537778 *	8.17969444 **	0.279 *	4097.2**
<b>Blo</b>	3	1.88825 ns	1.2126667 ns	0.41491667 ns	0.575 *	26.5ns
<b>Error</b>	27	4.9276944	4.0704444	1.1406574	0.10722222	52.86
<b>Total</b>	39	--	--	--	--	--
<b>CV %</b>	--	8.084644	9.20408	21.47844	57.95541	13.52
<b>Media</b>	--	27.4575	21.92	4.9725	0.565	53.75
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.798455	0.649797	0.70852	0.594026	0.962

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación. Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación. NF123; número total de frutos. NF1, NF2 y NF3; número de frutos de primera, segunda y tercera calidad, \*; estadísticamente significativo. \*\*: altamente significativo (p ≤ 0.01). ns; no significativo.

## 4.2 Comparación de medias (análisis factorial)

### 4.2.1 Variedad

La variedad Star fue estadísticamente superior a la variable Termo para rendimiento por ha (145.553 vs 122.395 t·ha<sup>-1</sup>), peso total de frutos (3.68 vs 3.09), peso de frutos de primera y segunda calidad (2.88 vs 2.58 y 0.77441 vs 0.4966), número total de frutos (31.125 vs 26.0875) y número de frutos de primera y segunda calidad (23.98 vs 21.4 y 6.45 vs 4.09) (variables de interés), y son estadísticamente similares en las variables NF3, PF3 (frutos con dificultades para su comercialización y precios bajos) y Pcol (Cuadros 9 y 10). Lo anterior puede explicarse como respuestas a la expresión genética propia de cada variedad en asociación con micorrizas.

#### 4.2.2 Micorrizas

La cepa Hortic Plus<sup>®</sup> fue estadísticamente similar a *Glomus mosseae* para todas las variables respuesta (Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, Pcol, DFF y DFM) y estadísticamente superior a las cepas Spectrum<sup>®</sup> y Micofos<sup>®</sup> para Rha, PF123 y Pcol. Las cepas *Glomus mosseae*, Spectrum<sup>®</sup> y Micofos<sup>®</sup> son estadísticamente iguales para Rha, PF123, PF1, PF2, NF123, NF1, NF2 y Pcol. La cepa Hortic plus<sup>®</sup> (mejor cepa) fue estadísticamente superior a Micofos<sup>®</sup> (cepa con menor rendimiento) para rendimiento por hectárea en cerca de 16 % (144.826 vs 124.947), peso total de frutos en 16 % (3.6665 vs 3.1632), número total de frutos en 16 % (30.7125 vs 26.475) y para número de frutos de primera calidad en 13 % (23.97 vs 21.23) (Cuadros 9 y 10).

Las variedades fueron similares para peso y número de frutos de tercera (PF3 y NF3), porcentaje de colonización (Pcol) (Cuadros 9 y 10). y días a floración femenina y masculina (DFF y DFM) (datos no presentados). Las cepas micorrízicas fueron estadísticamente similares para peso y número de frutos de segunda calidad (PF2 y NF2), días a floración femenina y masculina (DFF y DFM) (datos no presentados). Ya que los DFF y DFM son estadísticamente iguales para variedad y cepa micorrízica, no se puede hablar de una variedad o cepa que induzca precocidad en floración

La cepa comercial Hortic Plus<sup>®</sup> y la cepa experimental *Glomus mosseae* fueron estadísticamente similares para porcentaje de colonización micorrízica (87 y 73.5 %). Hortic Plus<sup>®</sup> fue superior a Micofos<sup>®</sup> (64.87 %) y a Spectrum<sup>®</sup> (59.25 %) (Cuadros 9 y 10)

Los resultados para por ciento de colonización promedio (71.5 %) son consistentes con lo obtenido por Shah (2011) donde el Pcol para *Glomus* sp, cepa Zac-19 fue cercano a 80 % en el cultivo de calabacita verdura con lo que presentaron ventajas sobre los tratamientos no inoculados.

Cuadro 9. Comparaciones múltiples de medias de variedades y cepas micorrízicas para cinco caracteres de rendimiento en calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo 2012.

Factor	Nivel	Rha	PF123	PF1	PF2	PF3
		(t·ha <sup>-1</sup> )	-----kg·Planta <sup>-1</sup> -----			
<b>Variedad</b>	Star	145.553 a	3.6849 a	2.88627 a	0.77441 a	0.024223 a
	Termo	122.395 b	3.0986 b	2.58122 b	0.4966 b	0.020784 a
	DMS	9.1574	0.2318	0.1966	0.0986	0.0099
<b>Cepa Micorrízica</b>	Hortic Plus <sup>®</sup>	144.826 a	3.6665 a	2.8984 a	0.74013 a	0.027956 ab
	<i>Glomus mosseae</i>	140.921 ab	3.5676 ab	2.9057 a	0.65113 a	0.010767 b
	Spectrum <sup>®</sup>	125.202 b	3.1697 b	2.5573 a	0.57125 a	0.041077 a
	Micofos <sup>®</sup>	124.947 b	3.1632 b	2.5735 a	0.57951 a	0.010214 b
	DMS	17.358	0.4394	0.3727	0.1868	0.0187

Rha: rendimiento por hectárea. PF123: peso total de frutos, PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad respectivamente. DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente semejantes ( $p \leq 0.01$ ).

Cuadro 10. Comparaciones múltiples de medias de variedades y cepas micorrízicas para cuatro caracteres de calidad en calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo 2012.

Factor	Niveles	NF123	NF1	NF2	NF3	Pcol
		-----Frutos·Planta <sup>-1</sup> -----				(%)
<b>Variedad</b>	Star	31.125 a	23.9813 a	6.45 a	0.6938 a	68.62 a
	Termo	26.0875 b	21.4 b	4.0938 b	0.5938 a	73.68 a
	DMS	1.3906	1.3699	0.7696	0.243	8.54
<b>Cepas Micorrízicas</b>	Hortic Plus <sup>®</sup>	30.7125 a	23.975 a	6.075 a	0.6625 ab	87 a
	<i>G. mosseae</i>	28.925 ab	23.2375 ab	5.2 a	0.4875 b	73.5 ab
	Spectrum <sup>®</sup>	28.3125 ab	22.3125 ab	5.025 a	0.975 a	59.25 cb
	Micofos <sup>®</sup>	26.475 b	21.2375 b	4.7875 a	0.45 b	64.87 abc
	DMS	2.636	2.5966	1.4588	0.4606	16.199

C: cepas micorrízicas, NF123: Número total de frutos. NF1, NF2 y NF3: Número de frutos de primera, segunda y tercera calidad respectivamente. Pcol: porcentaje de colonización, DMS: Diferencia mínima significativa. Tratamientos con letras iguales son estadísticamente semejantes ( $p \leq 0.01$ ).

### 4.3 Comparación de medias (análisis no factorial)

La comparación entre el tratamiento superior (T1: variedad Star + HortiC Plus<sup>®</sup>) y el tratamiento inferior (T10: Testigo de la variedad Termo) presento: 3.0638 kg.planta<sup>-1</sup> vs 2.0819 kg.planta<sup>-1</sup> para peso de frutos de primera calidad (PF1) equivalente a 121.0201 t·ha<sup>-1</sup> vs 82.23505 t·ha<sup>-1</sup>, peso de fruto de segunda calidad (PF2) 0.86225 kg.planta<sup>-1</sup> vs 0.3189 kg.planta<sup>-1</sup> equivalente a 34.0588t·ha<sup>-1</sup> vs 12.597 t·ha<sup>-1</sup> y fruto de tercera calidad (PF3), 0.0317 kg.planta<sup>-1</sup> vs 0.005284 kg.planta<sup>-1</sup> equivalente a 1.2546 t·ha<sup>-1</sup> vs 0.208 t·ha<sup>-1</sup> respectivamente (Cuadros 11 y 12).

Fueron estadísticamente iguales los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T6 (T1: Star + HortiC Plus<sup>®</sup>; T2: Star + G. mosseae; T3: Star + Spectrum<sup>®</sup>; T4: Star + Micofos<sup>®</sup> y T6: Termo + HortiC Plus<sup>®</sup>), para Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, Pcol, DFF y DFM. (Cuadros 11 y 12)

El mejor tratamiento (T1; variedad Star + HortiC Plus<sup>®</sup>), fue superior al tratamiento T10 (tratamiento inferior) para Rha (64.4 %), PF123 (64.5 %), PF1 (47 %), PF2 (186 %), PF3 (50 %), NF123 (54 %), NF1 (38.1 %), NF2 (150 %), NF3 (222 %) (cuadros 11 y 12)

Los tratamientos inoculados con cepas micorrízicas (T1: Star + HortiC Plus<sup>®</sup>, T2: Star + G. mosseae, T3: Star + Spectrum<sup>®</sup>, T4: Star + Micofos<sup>®</sup>, T6: Termo + HortiC Plus<sup>®</sup>, T7: Termo + G. mosseae, T8: Termo + Spectrum<sup>®</sup> y T9: Termo + Micofos<sup>®</sup>) son superiores a los tratamientos con las variedades no inoculadas (T5: Testigo de variedad Star y T10: testigo de variedad Termo). El incremento en rendimiento y calidad en tratamientos micorrizadas sobre los tratamientos no inoculadas (testigo) puede atribuirse tanto al crecimiento externo del micelio como a la extensión de la superficie de exploración y a la capacidad del HMA para incrementar el transporte de nutrimentos, particularmente de fosforo (Caris et al., 1998; González et al., 2004; Genre *et al.*, 2008). No hubo diferencias significativas entre ambos testigos (T5 y T10) para todas las variables (Cuadro 11 y 12).

No hubo diferencia estadística significativa entre el tratamiento con menor porcentaje de colonización (T6: Termo + Hortic Plus<sup>®</sup>, Pcol: 49.25 %), el de mayor porcentaje de colonización (T3: variedad Star + Spectrum<sup>®</sup>, Pcol: 88.75 %) y el mejor tratamiento (T1: Star + Hortic Plus<sup>®</sup>) para Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, Pcol, DFF y DFM; el porcentaje de colonización no influyo sobre Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, Pcol, DFF y DFM (Cuadro 11 y 12) como se esperaba. Al respecto Varela y Estrada–Torres (1997) indican que es probable que aunque se observe la colonización micorrízica, no todas las estructuras fúngicas están activas.

Los tratamientos T5 y T10 (Testigos) no fueron inoculados; sin embargo éstos presentaron colonización por el hongo micorrízico (13.5 y 17.25 %) (Cuadro 12), lo que sugiere que estos tratamientos probablemente presentaron contaminación ya sea por la composta adicionada (a fin de favorecer la simbiosis planta-micorriza), por el sustrato (tezontle), al momento de almacenarse a la intemperie fuera del invernadero, al momento de producir las plántulas, las que se sembraron en turba, la cual pudo contener algunas esporas del hongo micorrízico y la posible contaminación entre tratamientos por difusión de la solución del sustrato al considerar la alta densidad de población durante el experimento ( $3.95 \text{ plantas}\cdot\text{m}^3$ )

**Cuadro 11.** Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para cinco caracteres (rendimiento y sus componentes) de calabacita hidropónica en invernadero. Análisis combinado no factorial Chapingo, 2012.

Trat	Var	Cepa micorrízica	Rha (t·ha <sup>-1</sup> )	PF123 PF1 PF2 PF3			
				-----kg·Planta <sup>-1</sup> -----			
1	Star	Hortic Plus <sup>®</sup>	156.333 a	3.9578 a	3.0638 a	0.86225 a	0.031764 ab
2	Star	<i>G. mosseae</i>	149.157 a	3.7761 a	2.9713 a	0.79162 ab	0.013229 ab
3	Star	Spectrum <sup>®</sup>	141.747 ab	3.5885 ab	2.8382 ab	0.70941 abcd	0.040935 a
4	Star	Micofos <sup>®</sup>	134.978 abc	3.4172 abc	2.6718 abc	0.73436 abc	0.010965 b
5	Star	Testigo 1	107.342 cd	2.7175 cd	2.1854 bc	0.52619 bcde	0.005901 b
6	Termo	Hortic Plus <sup>®</sup>	133.32 abc	3.3752abc	2.733 abc	0.61801 abcd	0.024149 ab
7	Termo	<i>G. mosseae</i>	132.685 abc	3.3591 abc	2.8402 ab	0.51065 bcde	0.008306 b
8	Termo	Spectrum <sup>®</sup>	108.658 cd	2.7508 cd	2.2765 bc	0.43309 cde	0.041219 a
9	Termo	Micofos <sup>®</sup>	114.917 bcd	2.9093 bcd	2.4752 abc	0.42466 de	0.009462 b
10	Termo	Testigo 2	95.042 d	2.4061 d	2.0819 c	0.31893 e	0.005282 b
DMS	--	--	30.147	0.7632	0.6619	0.3075	0.0298

Tra: Tratamiento, Var; variedad, Rha: rendimiento por hectárea, PF123: peso total de frutos (kg/planta<sup>-1</sup>), PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad respectivamente. DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente semejantes ( $p \leq 0.01$ ).

**Cuadro 12.** Comparaciones múltiples de medias de tratamientos para cuatro caracteres (calidad y sus componentes) de calabacita hidropónica en invernadero. Análisis combinado no factorial. Chapingo, 2012.

Trat	Variedad	cepa Micorrízica	NF123 NF1 NF2 NF3				Pcol (%)
			-----Frutos·Planta-----				
1	Star	Hortic Plus <sup>®</sup>	33.175 a	25.35 a	7.1 a	0.725 a	85.25 a
2	Star	<i>G. mosseae</i>	30.65 ab	23.75 abc	6.3 abc	0.6 a	76.25 a
3	Star	Spectrum <sup>®</sup>	32.025 ab	24.725 ab	6.325 ab	0.975 a	49.25 b
4	Star	Micofos <sup>®</sup>	28.65 abc	22.1 abcd	6.075 abcd	0.475 a	63.75 ab
5	Star	Testigo 1	24.3 cd	19.325 cd	4.7 abcde	0.275 a	13.5 c
6	Termo	Hortic Plus <sup>®</sup>	28.25 abc	22.600 abcd	5.05 abcde	0.6 a	88.75 a
7	Termo	<i>G. mosseae</i>	27.2 bc	22.725 abcd	4.1 bcde	0.375 a	70.75 ab
8	Termo	Spectrum <sup>®</sup>	24.6 cd	19.9 bcd	3.725 cde	0.975 a	69.25 ab
9	Termo	Micofos <sup>®</sup>	24.3 cd	20.375 bcd	3.5 de	0.425 a	66 ab
10	Termo	Testigo 2	21.425 d	18.35 d	2.85 e	0.225 a	17.25 c
DMS	--	--	5.3992	4.9071	2.5977	0.225	26.115

Tra: Tratamiento, Var; variedad, NF123: número total de frutos. NF1, NF2 y NF3: número de frutos de primera, segunda y tercera calidad, Pcol: porcentaje de colonización, DMS: Diferencia mínima significativa. Tratamientos con letras iguales son estadísticamente semejantes ( $p \leq 0.01$ ).

## **4.4 Porcentaje de colonización micorrízica**

### **4.4.1 Análisis factorial**

El análisis de varianza factorial y comparación de medias no mostró diferencias significativas entre variedades para porcentaje de colonización (PCol), pero si presentó diferencia estadísticamente significativa para el factor cepa en la variable PCol, indicando que al menos una de las cepas fue diferente, la interacción variedad x cepa comercial no fue estadísticamente significativa. La cepa Hortic Plus<sup>®</sup> presentó el mayor porcentaje de colonización micorrízica (87 %) y la cepa Spectrum<sup>®</sup> presentó el menor pcol (59.25 %) (Cuadros 6 y 10).

### **4.4.2 Análisis no factorial**

El análisis de varianza no factorial presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos para porcentaje de colonización, lo que indica que al menos uno de los tratamientos es diferente (Cuadro 7).

El análisis de comparación de medias no factorial mostró que los tratamientos inoculados con las cepas micorrízicas son superiores a los no inoculados (testigo 1 y testigo 2). El tratamiento 3 (variedad Star + Spectrum<sup>®</sup>) obtuvo el menor porcentaje de colonización de los tratamientos inoculados con micorriza (Cuadro 12). Al respecto Varela y Estrada–Torres (1997) indican que la variación de las condiciones ambientales influye en la fisiología de las plantas y por lo tanto en la colonización micorrízica, por lo que es probable que aunque se observe la colonización micorrízica, no todas las estructuras fúngicas estén activas.

Los tratamientos T5 y T10 (Testigos) no fueron inoculados; sin embargo éstos presentaron colonización por el hongo micorrízico (13.5 y 17.25 %), lo que sugiere que estos tratamientos probablemente presentaron contaminación ya sea por la composta adicionada (a fin de favorecer la simbiosis planta-micorriza), por el sustrato (tezonle), al momento de almacenarse a la intemperie fuera del invernadero, al momento de producir las plántulas, las que se sembraron en turba, la cual pudo contener algunas esporas del hongo micorrízico y la posible contaminación entre tratamientos por difusión de la solución del sustrato al considerar la alta densidad de población durante el experimento ( $3.95 \text{ plantas} \cdot \text{m}^3$ )

Es importante mencionar que en general la inoculación micorrízica realizada fue eficiente para colonizar la raíz de calabacita, notándose que en la variedad Star indujo mayor rendimiento, calidad y sus componentes por encima de la variedad Termo (Cuadros 6, 8, 10 y 12), aunque no hubo diferencia significativa para los porcentajes de colonización lo cual concuerda con lo encontrado por Shah 2008

La cepa comercial Horti Plus<sup>®</sup> fue superior en porcentaje de colonización. Las cepas Spectrum<sup>®</sup> y Micofos<sup>®</sup> son estadísticamente semejantes en cuanto a porcentaje de colonización, esta igualdad persiste en las variables de la comparación de medias no factorial (Cuadros 11 y 12).

Los resultados para porcentaje de colonización promedio (71.55) son consistentes con lo obtenido por Shah (2011) donde el Pcol para *Glomus* sp, cepa Zac-19 fue cercano a 80 % en el cultivo de calabacita verdura y que presentaron ventajas sobre los tratamientos no inoculados, además de encontrar que el porcentaje de colonización no está directamente correlacionado con las variables respuesta y que

la respuesta a la colonización no fue la misma para ambas variedades, esto puede ser en respuesta a la compatibilidad se tenga entre los genotipos (hospedante-simbionte)

Así mismo, los factores que deben considerarse en la eficiencia de los HMA son la agresividad, infectividad y capacidad de dispersión por lo que algunas veces las condiciones de infectividad y efectividad del hongo micorrízico dependen no solo del simbionte, sino también de las condiciones ambientales, lo que aumenta la importancia de seguir realizando estudios con propósito de seleccionar cepas eficientes (Haas y Krikum, 19 85). Similarmente, se señala que la compatibilidad que se tenga entre ambos genotipos (hospedante-simbionte) será determinante en el éxito al utilizarla (Alarcon, 1999; *Ramírez-Gómez M. et al., 2012.*).

## **4. 6 Correlaciones entre variables**

### **4.6.1 Rendimiento y sus componentes**

El rendimiento por hectárea (Rha) mostró correlación directa, positiva y significativa con número total de frutos (NF123;  $r= 0.41^*$ ) y sus componentes: número de frutos de primera calidad (NF1;  $r=0.38^*$ ), de segunda (NF2;  $r=0.34^*$ ), tercera calidad (NF3;  $r=0.32^*$ ); con peso de frutos de primera (PF1;  $r=0.44^*$ ) y peso de frutos de segunda calidad (PF2;  $r=0.45^*$ ), indicando que efectivamente estos caracteres son los componentes del rendimiento en calabacita (Cuadro 10).

Por su parte, el peso total de frutos PF123 estuvo correlacionado alta directa, positiva y significativa con número de frutos de primera calidad (NF1;  $r=0.87^{**}$ ), número de frutos de segunda calidad (NF2;  $r=0.76^{**}$ ), número total de frutos (NF123;  $r=0.90^{**}$ ), peso de frutos de primera (PF1;  $r=0.97^{**}$ ), así mismo peso de frutos de segunda calidad (PF2;  $r=0.83247^{**}$ ), y una correlación significativa del mismo con: número de frutos de tercera calidad (NF3;  $r=0.32^*$ ) y peso de frutos de tercera calidad (PF3;  $r=0.38^*$ ) (Cuadro 10).

### **4.6.2 Calidad y sus componentes**

La variable número total de frutos (NF123) mostró una correlación alta, directa, positiva y altamente significativa con número de frutos de primera calidad (NF1;  $r=0.96^{**}$ ), número de frutos de segunda calidad (NF2;  $r=0.81^{**}$ ), Peso de frutos de primera calidad (PF1;  $r=0.88^{**}$ ), peso de frutos de segunda calidad (PF2;  $r=0.77^{**}$ ), peso total de frutos (PF123;  $r=0.90$ ) (Cuadro 10).

Se presentó correlación directa y significativa de número total de frutos (NF123) con: número de frutos de tercera (NF3;  $r=0.38^*$ ), peso de frutos de tercera (PF3;  $r=0.34^*$ ) y rendimiento por hectarea (RENHA;  $r=0.41^*$ ). Indicando que efectivamente estos caracteres son los componentes de la calidad en calabacita.

#### **4.6.3 Porcentaje de colonización, Días a floración femenina y días a floración masculina.**

Hubo correlación inversa (negativa) y significativa entre días a floración masculina (DFM) y número de frutos de tercera calidad (NF3;  $r= -0.36^*$ ), la correlación entre las variables días a floración femenina (DFF), días a floración masculina y porcentaje de colonización (Pcol) fue no significativa, entre estos, y entre los demás caracteres evaluados (Cuadro 17).

Aparentemente contradictorio a lo esperado, no existió correlación alta y significativa ( $r= -0.05$  ns) entre el porcentaje de colonización y rendimiento por ha. El hecho de que el porcentaje de colonización no resultara correlacionado con ninguna variable respuesta de rendimiento, calidad o sus componentes, puede atribuirse a que se ha comprobado que los conceptos de infectividad y efectividad no están relacionados y se dice que los hongos micorrízicos arbusculares que establecen abundante colonización micorrízica (80–90 %) no necesariamente inducirán mayores efectos, ya que se pueden encontrar hongos micorrízicos que colonicen la raíz en menor proporción (15–40 %) y muestren excelentes efectos en la nutrición y crecimiento de la planta (Bago *et al.*, 2000; Alarcon *et al.*, 2004).

**Cuadro 13.** Correlaciones entre caracteres del cultivo de calabacita verdura cultivada en hidroponía en invernadero 2012.

VARIABLE	NF2	NF3	NF123	PF1	PF2	PF3	PF123	DFF	DFM	Pcol	RENHA
NF1	0.65 ns	0.31*	0.96**	0.89**	0.61**	0.32*	0.87**	0.066ns	0.03ns	0.00ns	0.38*
NF2		0.241ns	0.81**	0.61**	0.96**	0.20ns	0.76**	0.12ns	-0.05ns	-0.12ns	0.34*
NF3			0.38*	0.31*	0.20ns	0.55*	0.32*	0.17039ns	-0.36*	-0.01ns	0.32*
NF123				0.88**	0.77**	0.34*	0.90**	0.09ns	-0.01ns	-0.03ns	0.41*
PF1					0.69**	0.38*	0.97**	0.08ns	-0.10ns	-0.13ns	0.44*
PF2						0.23ns	0.83**	0.13310ns	-0.13ns	-0.20ns	0.39*
PF3							0.38*	-0.02ns	-0.26ns	-0.03ns	0.13ns
PF123								0.10ns	-0.12ns	-0.16ns	0.45*
DFF									0.03ns	-0.13ns	-0.15ns
DFM										-0.17ns	-0.22ns
PCOL											-0.05ns

NF1, NF2 y NF3: número de frutos de primera, segunda y tercera calidad, NF123: número total de frutos, PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, PF123: peso total de frutos, DFF: días a floración femenina, DFM: días a floración masculina, Pcol: porcentaje de colonización, \*: significativa, \*\*: altamente significativa, ns: no significativa ( $p \leq 0.01$ ).

## V. CONCLUSIONES

La inoculación con cepas de hongos micorrizicos incremento el rendimiento y calidad en comparacion con los testigos.

La cepa Hortic Plus<sup>®</sup>, fue la mejor para rendimiento y calidad asi como en sus respectivos componentes en calabacita verdura.

La variedad de calabacita Star (tipo round zucchini), fue superior a la variedad Termo (gray zucchini) en todas las variables evaluadas en este experimento, excepto en número y peso de frutos de tercera calidad en donde fueron estadísticamente semejantes.

La mejor combinación (variedad Star + cepa Hortic Plus<sup>®</sup>) incremento significativamente el rendimiento de calabacita en más del 60 % y frutos de primera calidad en 38.1 % respecto al tratamiento con menor rendimiento (Testigo de variedad Termo).

El porcentaje de colonizacion no presenta una relacion directa (infectividad) con incremento del rendimiento y calidad (efectividad) en calabacita verdura, lo que nos habla de diferencia entre infectividad y efectividad.

## VOLUMEN DE SUSTRATO Y MOMENTO DE INOLUCACIÓN DE HONGOS MICORRIZICOS EN CALABACITA

VOLUME OF SUBSTRATE AND TIME OF MYCORRHIZAL INOLUCACIÓN IN SUMMER SQUASH  
E. Martínez-Torrijos<sup>1</sup>; C. Villanueva-Verduzco<sup>2</sup>; J.Sahagun-Castellanos<sup>2</sup>; R Castro-Brindis<sup>2</sup>.

### RESUMEN

Un aspecto importante del proceso de producción de calabacita verdura en hidroponía bajo invernadero es la obtención de plántulas de alta calidad. El objetivo de este estudio fue evaluar en hidroponía en invernadero el efecto de volúmenes de sustrato y momentos de inoculación micorrízica, en el vigor de plántulas de calabacita (variedad Star) y sobre rendimiento, calidad, precocidad y sus componentes. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x2: (momentos de inoculación x volúmenes de sustrato). El volumen de sustrato 1 (200ml) fue superior al volumen de sustrato 2 (25 ml) para área foliar (AF), diámetro de tallo (DT), volumen de raíz (VR) (caracteres de vigor en plántula) y no se presentaron diferencias estadísticas para volumen de sustrato en rendimiento y calidad de calabacita verdura. El momento de inoculación micorrízica a la siembra (MIM1) produjo diámetro de tallo (DT) mayor que la inoculación micorrízica al trasplante (MIM2), y los dos momentos fueron estadísticamente similares para rendimiento por hectárea (Rha), peso total de frutos (PF123), peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad (PF1, PF2 y PF3) (componentes de rendimiento), número total de frutos (NF123), número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (NF1, NF2 y NF3) (componentes de calidad), días a floración femenina y masculina (DFF y DFM) (componentes de precocidad) y porcentaje de colonización micorrízica (Pcol). El rendimiento con los tratamientos inoculados con micorrizas resultó 51.5 % más alto que con los tratamientos no inoculados (68.34 vs 45.13 t·ha<sup>-1</sup>).

### ABSTRACT

An important aspect in summer squash production under hydroponics and greenhouse conditions is to obtain quality seedlings. The objective of this study was to evaluate under greenhouse hydroponics the effect of substrate volumes and mycorrhizal inoculation moments on seedling summer squash (variety Star) vigor and on yield, quality, earliness and their components. The experimental design was randomized complete blocks with a 2x2 factorial arrangement: (time of inoculation x volumes of substrate). Volume of substrate 1 (200ml) resulted in higher values than volume of substrate 2 (25 ml) for leaf area (AF), stem diameter (DT), root volume (VR) (seedling vigor traits). There were no statistical differences in substrate volume for yield and quality of summer squash. Mycorrhizal inoculation at planting (MIM1) produced larger stem diameter (DT) than mycorrhizal inoculation at transplant (MIM2), but the two moments were statistically similar for yield per hectare (Rha), total fruit weight (PF123), weight of first, second and third grade quality fruits (PF1, PF2 and PF3) (yield components), total number of fruits (NF123), number of first, second and third grade quality fruits (NF1, NF2 and NF3) (quality components), days to female and male flowering (DFF and DFM) (earliness components) and percent mycorrhizal colonization (Pcol). Yield with mycorrhizal inoculated treatments was 51.5 % higher than with non-inoculated treatments (68.34 vs. 45.13 t · ha<sup>-1</sup>).

**Key words:** Mycorrhizal fungi, fruit quality, yield per ha, *Cucurbita pepo*.

**Palabras claves:** hongos micorrizicos, calidad de fruto, rendimiento por ha, *Cucurbita pepo*.

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

2 Director de tesis, Profesor- Investigador, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

## VI INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de calabacita (*Cucumis pepo*.) contribuye en la generación de divisas y empleos, por ser una de las principales hortalizas que se cultivan. En 2011 se cosecharon en campo abierto 28,397.67 ha, con un rendimiento promedio de 16.462 t·ha<sup>-1</sup> (SIAP-SAGARPA, 2013).

La producción en campo, la calabacita se maneja en siembra directa. En cambio, bajo invernadero, por la necesidad de adelantar la cosecha para aprovechar las ventanas de comercialización, de evadir roedores, pájaros y de hacer un uso más eficiente de la semilla híbrida de alto costo, es frecuente la producción de plántulas para trasplante (Wien, 1999).

Con el sistema de cultivo por trasplante combinado con el de hidroponía, es posible programar fechas de cosecha durante todo el año, lograr plantas más uniformes en tamaño, reducir el ciclo de cultivo y hacer un uso más eficiente del espacio y del tiempo. En tales condiciones las plantas presentan menor estrés por falta de agua, luz y oxigenación de la raíz, y por ende se obtiene mejor crecimiento, desarrollo y productividad (Default, 1998).

En el proceso productivo de la calabacita verdura es importante obtener plántulas vigorosas, que garanticen un buen establecimiento y alta producción. El vigor se evalúa mediante indicadores como grosor de tallo, crecimiento de raíz, área foliar, grosor de la lámina foliar y materia seca, entre otros. Un mayor vigor de las plántulas al momento del trasplante se puede reflejar en mayor precocidad del cultivo y eventualmente, en un mayor rendimiento total, como lo han señalado Sánchez *et al.* (1999) y Wien (1999) en tomate (*Solanum lycopersicon* Mill.) y Weston (1988) en pimiento (*Capsicum annum* L.).

La obtención de plántula de calidad también requiere semilla con calidad genética y fisiológica y un ambiente favorable para la raíz y el vástago. En los semilleros, los contenedores de mayor uso son elaborados con poliestireno expandido; generalmente se trata de charolas de 200 cavidades con 25 a 30 mL por cavidad. Estas charolas germinadoras facilitan la producción de plántula, aumentan la producción de plántulas por unidad de superficie, usan menor cantidad de sustrato por cavidad y poco espacio de invernadero pero su reducido volumen por cavidad

restringe el crecimiento de las plántulas, lo que frecuentemente demerita su vigor (Marsh y Paul, 1988; Marr y Jirak, 1990). Al respecto, Moreno-Pérez. (2011) Menciona que el volumen de sustrato en el que se desarrolla la raíz es más importante que el espacio aéreo para el crecimiento. Generalmente no se consideran las necesidades fisiológicas y morfológicas para el desarrollo óptimo de las plántulas ni se analizan los efectos relacionados con el crecimiento y el rendimiento al ser trasplantadas. Al usar cavidades pequeñas las plántulas sufren efectos fisiológicos y morfológicos negativos como etiolación de la parte aérea e hipoxia de la raíz, en respuesta al sombreado mutuo provocado por la alta densidad de plántulas y la reducción del volumen para el crecimiento de la raíz, factores que se agudizan hacia el final de la etapa de semillero, lo cual afecta la calidad y comportamiento posterior al trasplante (Sakurai *et al.*, 2007). Cooper *et al.* (2002) señalan que al aumentar el volumen de la cavidad, se incrementa la precocidad en la floración y en la cosecha. El incremento en el volumen de la cavidad causa aumentos en el crecimiento de las raíces, brotes apicales, acumulación de biomasa, tasa de fotosíntesis, contenido de clorofila en las hojas, absorción de nutrimentos, respiración y rendimiento de las plantas (Cantliffe, 1993; Nesmith y Duval, 1998). Sin embargo, Sánchez del Castillo *et al.* (2012) encontraron que en jitomate el mayor volumen de sustrato si aumenta el vigor de la plántula pero no incremento el rendimiento por unidad de superficie. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del momento de inoculación micorrízica y volumen de sustrato, en el vigor de la plántula, rendimiento, calidad y porcentaje de colonización.

## VII MATERIALES Y MÉTODOS

## 7.1 Localización del experimento

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

El terreno del invernadero se encuentra a 2,250 msnm y 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. El invernadero tiene doble apertura cenital para una mejor ventilación. La presente investigación se llevó a cabo, durante el periodo comprendido del 06 de Julio al 10 de Noviembre de 2012.

## 7.2 Variedad

La variedad empleada fue: Star (tipo round zucchini) híbrido experimental arbustivo y precoz del Programa de Mejoramiento Genético de Calabazas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. que pertenece a la especie *Cucurbita pepo*. Es una planta anual, herbácea, rastrera, trepadora y de crecimiento precoz (Villanueva, 2007).

Los antecedentes de las características morfológicas y agronómicas de la variedad Star fueron presentadas por Segura (2008) (Cuadro 1).

Cuadro 14. Diversos caracteres de calabacita verdura evaluados por Segura R. V. 2008 (Variedad Star)

<b>VARIEDAD</b>	<b>RPP</b>	<b>FPP</b>	<b>LF</b>	<b>AF</b>	<b>DFF</b>	<b>DFM</b>	<b>Rha</b>
	<b>g.planta<sup>-1</sup></b>	<b>número</b>	<b>cm</b>		<b>Días</b>		<b>t·ha<sup>-1</sup></b>
<b>Star</b>	1092	9	5.5	5.6	58	60	68.2

RPP:rendimiento por planta, FPP: frutos por planta, LF: largo de fruto, AF: ancho de fruto, DFF: dias a floración femenina, DFM: dias a floración masculina, Rha: rendimiento por hectarea.

### 7.3 Diseño de tratamientos evaluados

El experimento se llevó a cabo con el diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2 (volumen de sustrato (VS) x momento de inoculación micorrízica (MIM)) + dos testigos. Testigo 1; VS1 + No inoculado y Testigo 2; VS2 + No inoculado. Con cuatro repeticiones, dando un total de 24 unidades experimentales (U.E.). Cada U.E. constó de 10 plantas de calabacita.

**Cuadro 15.** Diseño de tratamientos del experimento como combinación de dos variedades de calabacita en invernadero.

Tratamiento	Variedad	Composta (g.planta <sup>-1</sup> )	Volumen de sustrato (ml)	Momento de inoculación
1	Star	720	200	Trasplante
2	Star	720	25	Trasplante
3	Star	720	200	Siembra
4	Star	720	25	Siembra
5	Star	720	200	Testigo 1
6	Star	720	25	Testigo 2

### 7.4 Inoculación

La inoculación durante la siembra se realizó mezclando el inoculante con el sustrato (5 kg de Hortic Plus<sup>®</sup> por m<sup>3</sup> de sustrato). La inoculación al trasplante se llevó a cabo poniendo en contacto la cepa comercial con las raíces de la plántula (0.75 g de Hortic Plus<sup>®</sup> por plántula de acuerdo con ficha técnica)

### 7.5 Siembra y trasplante

La semilla de la variedad Star fue sembrada el 06 de julio del 2012. Se combinaron el factor volumen de sustrato y el factor momento de inoculación micorrízica.

El primer factor presenta dos niveles de volumen de sustrato (VS);

VS1: 25 ml de volumen por cavidad (Charolas de 200 cavidades; 32 x 66 cm, manejo convencional de semillero en charolas).

VS2: 200 ml de volumen por cavidad (Charolas con 60 cavidades; 34 x59 cm)

Como sustrato se ocupó turba y el trasplante se llevó a cabo después de 22

días de la siembra.

Los niveles del segundo factor fueron dos momentos de inoculación de la cepa comercial HortiC Plus® (MIM);

MIM1: Inoculación micorrízica durante la siembra ( 5 kg de HortiC Plus® por m<sup>3</sup> de sustrato)

MIM2: Inoculación micorrízica durante el trasplante. (0.75 g de HortiC Plus® por planta aplicada al cepellón)

El trasplante se realizó en bolsas de polietileno negro de 40 x 45 cm y como sustrato se empleó tezontle. Para el riego se colocaron dos cintillas separadas 50 cm entre éstas y goteros a 30 cm de modo que cada planta tuviera un gotero para el riego, a cada contenedor se le agregaron 720 g de composta, la cual se mezcló con parte del sustrato a fin de favorecer la simbiosis micobionte-planta (Shah, 2011). La densidad de población fue de 39, 500 plantas·ha<sup>-1</sup>, dispuestas en dos hileras separadas a 50 cm y 30 cm entre plantas, 5 plantas por hilera a fin de tener 10 plantas por unidad experimental (U.E.). La polinización se realizó con abejorros.

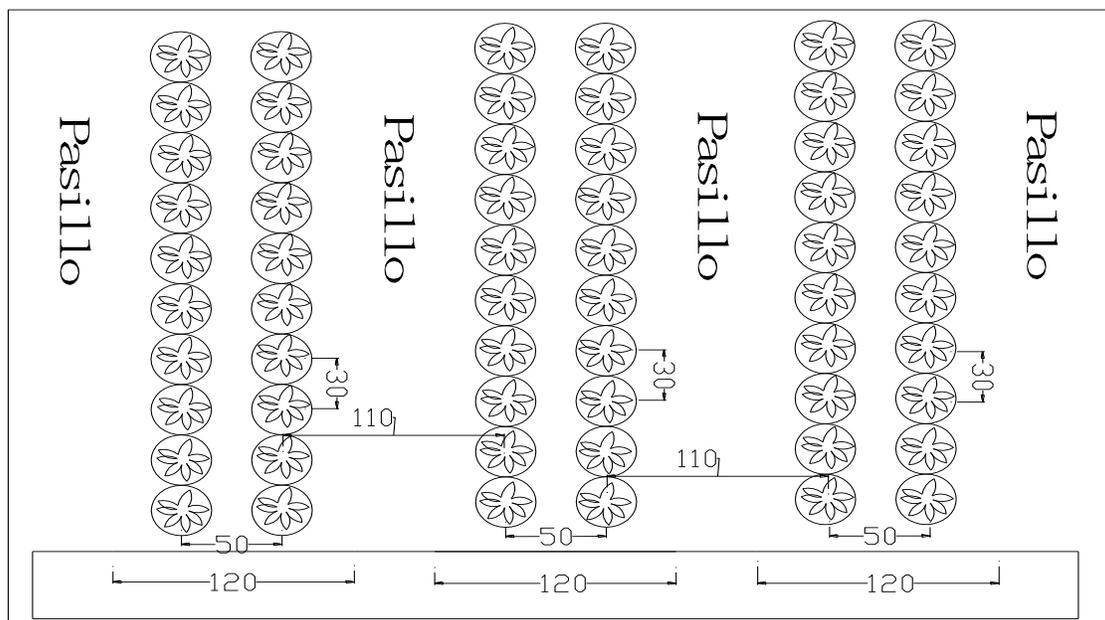


Figura 3. Arreglo topológico de las plantas de calabacita en invernadero.

## 7.6 Variables en estudio

**Área foliar de plántula (AFP: cm).** Se midió con un integrador marca LI-3100 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA) a los 22 días después de siembra en una muestra de 5 plantas por unidad experimental.

**Longitud de tallo (LT: cm).** A partir del nivel del suelo hasta el ápice con un flexómetro.

**Diámetro del tallo en cm (DT).** Se midió con un vernier digital.

**Volumen de raíz (VR: ml).** Por desplazamiento de agua en una probeta de 500 mL.

**Número total de frutos por planta ( N F 1 2 3 ).** Acumulados en 16 cortes.

**Número de frutos de primera, segunda y tercera calidad por planta (NF1, NF2 y NF3).** Acumulados en 16 cortes, la calidad se determinó mediante la norma oficial mexicana NMX-FF-020-1982 productos alimenticios no industrializados para uso humano - fruta fresca calabacita - (cucurbita pepo).

**Peso total de frutos por planta:( P F 1 2 3 : k g ).** Acumulados en 34 cortes.

**Peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad por planta (PF1, PF2 Y PF3).** Se registró como el peso total acumulado por planta en 16 cortes realizados.

**Rendimiento por hectárea (Rha; t·ha<sup>-1</sup>).** Se obtuvieron los pesos promedio por planta de los frutos de todos los cortes de calabacita realizados y se expresó en t·ha<sup>-1</sup>, considerando una densidad de población establecida de 39500 plantas·ha<sup>-1</sup>.

**Días a floración femenina (DFF).** Número de días acumulados a partir del primer riego después de la siembra, hasta que el 50 % de las plantas de la parcela experimental habían abierto su primera flor femenina.

**Días a floración masculina (DFM).** Número de días acumulados a partir del primer riego hasta que (50 %) de las plantas de la parcela experimental habían llegado a antesis en su primera flor masculina.

**Porcentaje de colonización micorrízica (Pcol).** Al término del cultivo se extrajeron 48 plantas para la determinación del porcentaje de colonización (dos

por cada unidad experimental). A cada raíz se le cortaron y pesaron 5 g y se almacenaron en alcohólico hasta la evaluación del porcentaje de colonización micorrízica por el método empleado por Phillips y Hayman 1970, que consiste en coloración de las raíces y su observación al microscopio. El método para la determinación de la presencia de ciertas estructuras del hongo: vesículas, hifas, arbuscúlos y su relación dentro de la raíz. El procedimiento consistió en *efectuar la tinción de raíces; montar las raíces teñidas en portaobjetos y evaluar al microscopio óptico el porcentaje de estructuras de la micorriza.*

### 7.8 Riego y solución nutritiva

El riego fue mediante dos cintillas a 50 cm de separación por cama y 30 cm entre goteros realizándose tres riegos diarios con solución nutritiva (9:00, 12:00 y 15:00 horas) con una duración aproximada de 30 min por riego.

Se utilizó la solución universal de Steiner (1984), modificada por Pérez y Castro (1999) (Cuadro 3).

**Cuadro 16.** Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.

FUENTE	FÓRMULA QUÍMICA	DOSIS
Acido fosfórico	$H_3PO_4$	110.0 mL
Sulfato de potasio	$K_2SO_4$	287.23 g
Sulfato de magnesio	$MgSO_4 + H_2O$	264 g
Nitrato de potasio	$KNO_3$	333.3 g
Nitrato de calcio	$Ca(NO_3)_2$	1168.0 g
Sulfato ferroso	$Fe SO_4 + H_2O$	55 g
Sulfato de manganeso	$Mg SO_4 \cdot 4H_2O$	11 g
Sulfato de zinc	$Zn SO_4 + H_2O$	5.5 g
Sulfato de cobre	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5.5 g
Bórax	$Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O$	11 g

Fuente: Pérez y Castro (1999).

### 7.9 Determinación del porcentaje de colonización (endomicorrizas)

Tinción y colocación de raíces según Giovanetti y Mosse (1980), modificado por Alarcon *et al.* (2004);

#### Tinción de raíces

- a) Corte de raíces y colocación de raíces en cápsulas esterilizadas.
- b) Raíces en solución de KOH (10 %) 20 min.
- c) Raíces expuestas a solución de agua oxigenada por 10 minutos.
- d) enjuague de las raíces con agua corriente para quitar restos de agua oxigenada.
- e) Raíces expuestas a HCl (10 %) durante 10 minutos.
- f) Raíces expuestas a solución colorante con azul tripano (0.05 %) en lactoglicerol 10 horas.
- g) cápsulas con raíces teñidas, listas para su montaje

#### Montaje de las raíces teñidas

- a) montaje de raíces en portaobjetos con lactoglicerol;
- b) observación de las preparaciones al microscopio de campo claro a objetivo de inmersión 100x e identificación de las estructuras fúngicas intraradicales.

Este método es recomendable para raicillas de fácil observación (cebolla, poro, lechuga, etc.) cuya existencia y grado de colonización, permite observar la colonización por los hongos micorrízicos arbusculares; mientras que no muy es recomendable para raíces de consistencia semileñosa o leñosa (árboles forestales o frutales), por su dificultad para teñirlas.

### **7.9.1 Porcentaje de colonización micorrízica**

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:

*% Colonización*

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

### **7.10 Análisis estadístico**

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

## IIX RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Análisis de varianza

#### 8.1.1 Análisis de varianza entre los niveles de sustrato sin testigos

El análisis de varianza indicó que hubo diferencias estadísticas significativas entre volumen de sustrato para área foliar (AF), longitud de tallo (LT), diámetro de tallo (DT) y volumen radical (VR) (componentes de vigor de plántula) y no hubo diferencias estadísticas significativas para el rendimiento por hectárea (Rha), peso total de frutos (PF123), peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad (PF1, PF2 y PF3), (componentes de rendimiento), número total de frutos (NF123), número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (NF1, NF2 y NF3) (componentes de calidad), días a floración masculina y femenina (DFF y DFM) (componentes de precocidad) y porcentaje de colonización (Pcol) (Cuadros 17 y 18)

Hubo diferencias estadísticas significativas entre los niveles del factor momento de inoculación micorrízica (MIM) en diámetro de tallo, y no las hubo para AF, DT, VR, Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, DFF, DFM y Pcol.

En general el momento de inoculación micorrízica (durante la siembra-durante el trasplante). Así como el volumen de sustrato afectaron mayormente a los componentes de vigor (AF, LT, DT Y VR), y muy poco a los componentes de rendimiento (Rha, PF123, PF1, PF2 y PF3), calidad (NF123, NF1, NF2 y NF3) y precocidad (DFF y DFM) y Pcol, contrario a lo que se esperaba.

La interacción VS x MIM presentó diferencias estadísticas significativas para LT y DT indicando que la variedad Star responde de diferente manera a los niveles de VS y MIM; y fue no significativa para las demás variables respuestas estudiadas.

Cuadro 17. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de vigor en plántulas de calabacita.

FV	GL	AF	LT	DT	VR
		------(cm)-----			(ml)
<b>VS</b>	1	2846.2225 **	198.105625 **	0.05640625 **	679.905625 **
<b>MIM</b>	3	11.2225 ns	0.140625 ns	0.00680625 *	0.015625 ns
<b>VSxMIM</b>	3	2.4025 ns	4.950625 *	0.00275625 *	4.100625 ns
<b>Blo</b>	3	6.8875 ns	0.5489583 ns	0.00032292 ns	0.1039583 ns
<b>Error</b>	21	4.194167	0.3728472	0.00018958	1.1367361
<b>Total</b>	31	2918.2575	208.199375	0.06864375	694.564375
<b>CV</b>	--	3.034586	4.863014	3.513602	4.227721
Media	--	67.4875	12.55625	0.391875	25.21875
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.987065	0.983883	0.975143	0.98527

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, VS: volumen de sustrato, MIM: momento de inoculación micorrízica, VS x MIM: interacción volumen de sustrato x momento de inoculación micorrízica, AF: área foliar, LT: longitud de tallo, DT: diámetro de tallo, VR: volumen de raíz, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación, Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, \*: Estadísticamente significativo, \*\*: altamente significativo (p ≤ 0.01), ns: no significativo.

Cuadro 18. Cuadrados medios del análisis de varianza para caracteres de rendimiento y calidad en calabacita hidropónica en invernadero.

FV	GL	Rha	PF123	PF1	PF2	PF3	NF123	NF1	NF2	NF3
		(t.ha-1)	-----Kg.planta <sup>-1</sup> -----				-----Frutos.planta <sup>-1</sup> -----			
<b>VS</b>	1	81.95ns	0.052ns	0.001ns	0.031ns	0.0002ns	9.30ns	1 ns	3.15ns	0.075ns
<b>MIM</b>	1	167.08ns	0.107ns	0.119ns	0.0002ns	0.000004ns	4.62ns	6.76ns	0.07ns	0.030ns
<b>VSxMIM</b>	1	18.56ns	0.011ns	0.002ns	0.026ns	0.000005ns	0.04ns	1.32ns	1.15ns	0.015ns
<b>Blo</b>	3	69.56ns	0.044ns	0.061ns	0.002ns	0.00006 ns	1.19ns	1.87ns	0.35ns	0.160ns
<b>Error</b>	9	84.94	0.054	0.039	0.002	0.00005725	2.28	1.70	0.22	0.050
<b>Total</b>	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>CV%</b>	--	14.92	14.92	15.92	18.11	95.91	11.52	12.58	18.83	96.76
<b>media</b>	--	61.76	1.56	1.25	0.30	0.007	13.12	10.38	2.50	0.23
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.38	0.38	0.46	0.70	0.453	0.45	0.48	0.73	0.57

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, Blo: bloques, VS: volumen de sustrato, MIM: momento de inoculación micorrízica, VS x MIM: interacción volumen de sustrato x momento de inoculación micorrízica, CV: coeficiente de variación, Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, Rha: rendimiento por hectárea, PF123: peso total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, NF123: Número total de frutos. NF1, NF2 y NF3: Número de frutos de primera segunda y tercera calidad, \*: significativo. \*\*: altamente significativo (p ≤ 0.01). ns: no significativo.

### 8.1.2 Análisis de varianza con testigos

Hubo diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos para área foliar (AF), longitud de tallo (LT), diámetro de tallo (DT), volumen de raíz (VR) (componentes de vigor de plántula), peso total de frutos (PF123), peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad (PF1, PF2 y PF3) (componentes de rendimiento), número total de frutos (NF123), número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (NF1, NF2 y NF3) (componentes de calidad), días a floración femenina y masculina (DFF y DFM) (componentes de precocidad) y porcentaje de colonización micorrízica (Pcol) (Cuadros 19 y 20) lo que nos indica la presencia de alguna combinación de factores estadísticamente significativa.

Cuadro 19. Cuadros medios del análisis de varianza con testigos para caracteres de vigor de plántula en plántulas de calabacita.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>AF</b>	<b>LT</b>	<b>DT</b>	<b>VR</b>
		----- <b>(cm)</b> -----			<b>(ml)</b>
<b>TRAT</b>	5	1306.921667 **	53.3524167 **	0.01935417 **	173.3604167 **
<b>Blo</b>	3	8.827778 ns	0.6370833 ns	0.0003375 ns	0.4015278 ns
<b>Error</b>	15	5.353444	0.35375	0.00017417	1.0275278
<b>Total</b>	23	--	--	--	--
<b>CV%</b>	--	3.478453	4.814318	3.424144	4.117125
<b>Media</b>	--	66.51667	12.35417	0.385417	24.62083
<b>R<sup>2</sup></b>	--	0.987909	0.980633	0.973978	0.982553

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, TRAT: tratamientos, Blo: Bloques, AF: área foliar, LT: longitud de tallo, DT: diámetro de tallo, VR: volumen de raíz, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación, Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, \*: Estadísticamente significativo, \*\*: altamente significativo (p ≤ 0.01), ns: no significativo.

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza con testigos para caracteres de rendimiento y calidad en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.

FV	GL	Rha (t.ha-1)	PF123 -----	PF1 kg-Planta-----	PF2	PF3	NF123 -----	NF1 No. Frutos-planta-----	NF2	NF3
TRAT	5	276.22ns	0.17*	0.10*	0.024*	0.00008*	11.9*	6.14*	1.83*	0.04ns
Blo	3	60.48ns	0.03ns	0.04ns	0.001ns	0.00004ns	1.73ns	1.79ns	0.15ns	0.13*
Error	15	62.75ns	0.04ns	0.03ns	0.003ns	0.00003ns	1.74ns	1.39ns	0.26ns	0.03ns
Total	23	--	--	--	--	--	--	--	--	--
CV %	--	13.88	13.88	15.14	21.46	106.94	10.87	12.11	22.90	106.94
Media	--	57.06	1.44	1.17	0.26	0.005	12.15	9.73	2.22	0.18
R <sup>2</sup>	--	0.62	0.62	0.58	0.72	0.50	0.71	0.63	0.71	0.5247

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, TRA: tratamientos, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación, Media: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, Rha: rendimiento por hectárea, PF123: peso total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, NF123: Número total de frutos. NF1, NF2 y NF3: Número de frutos de primera segunda y tercera calidad. Pcol: porcentaje de colonización micorrízica. \*: significativo. \*\*: altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). ns: no significativo.

## 8.2 Comparación de medias de niveles de los factores

### 8.2.1 Volumen de sustratos por planta

El volumen de sustrato 1 (VS1: 200 ml) fue superior al volumen de sustrato 2 (VS: 25ml) para las variables área foliar (AF), diámetro de tallo (DT), volumen de raíz (VR), e inferior al volumen 2 en largo de tallo (LT). Ambos volúmenes de sustrato fueron estadísticamente similares para rendimiento por hectárea (Rha), peso total de frutos (PF123), peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad (PF1, PF2 y PF3) (componentes de rendimiento), número total de frutos (NF123), número de frutos de primera, segunda y tercera calidad (NF1, NF2 y NF3) (componentes de calidad), días a floración femenina y masculina (DFF y DFM) (componentes de precocidad) y porcentaje de colonización micorrízica (Pcol) (Cuadros 17 y 18) indicando que el volumen de sustrato presenta efecto significativo con relación a las variables AF, DT, VR y LT que son caracteres de vigor de plántula y que probablemente son resultado del mayor espacio de desarrollo de las raíces, mayor

oxigenación, mayor cantidad de agua y nutrientes como lo señalaron Peterson *et al.* (1991) y Wien (1999) además Reghin *et al.* (2006). Al respecto Sakurai *et al.* (2007) mencionan que puede deberse a la menor densidad de plántulas, ya que a mayor volumen de sustrato las charolas presentan menor número de cavidades por m<sup>3</sup> con lo que puede disminuir la competencia por radiación solar entre las plántulas que fueron colocadas en charolas con volumen mayor comparadas con las plántulas en menor volumen de sustrato (25 ml: charolas de 60 x 30 cm y 200 cavidades vs 200 ml: charolas de 60 x 30 con 40 cavidades)

### **8.2.2 Momento de inoculación**

La inoculación micorrízica durante la siembra (MIM1) fue superior para longitud de tallo (LT) sobre la inoculación micorrízica durante el trasplante (MIM2) y fueron estadísticamente iguales para AF, DT, VR, Rha, PF123, PF1, PF2, PF3, NF123, NF1, NF2, NF3, DFF, DFM y Pcol (Cuadros 21 y 22)

Se puede observar que el volumen de sustrato y el momento de inoculación micorrízica solo presentaron efectos para los caracteres de vigor de plántula (AF, LT, DT y VR) y no hubo efecto para los caracteres de rendimiento (Rha, PF123, PF1, PF2 y PF3), calidad (NF123, NF1, NF2 y NF3), precocidad (DFF y DFM).

El mayor vigor en plántula no presentó relación con el rendimiento, calidad, precocidad y porcentaje de colonización micorrízica en calabacita verdura, contrario a lo señalado por Sánchez *et al.* (1999) y Wien (1999) quienes mencionan que un mayor vigor de plántula al momento del trasplante se puede reflejar en mayor precocidad del cultivo y eventualmente, en mayor rendimiento total.

Cuadro 21. Comparación múltiple de medias factorial para caracteres de vigor en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.

FV	NIVEL DEL FACTOR	AF	LT	DT	VR
		------(cm)-----			(ml)
<b>VOLUMEN DE SUSTRATO</b>	200	80.825 a	9.0375 b	0.45125 a	31.7375 a
	20	54.15 b	16.075 a	0.3325 b	18.7 b
		2.3163	0.6906	0.0156	1.2059
<b>MOMENTO DE INOCULACION</b>	Siembra	66.65 a	12.4625 a	0.4125 a	25.25 a
	Trasplante	68.325 a	12.65 a	0.37125 b	25.1875 a
		2.3163	0.6906	0.0156	1.2059

FV: fuente de variación, AF: área foliar, LT: longitud de tallo, DT: diámetro de tallo, VR: volumen de raíz, DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.01$ ).

Cuadro 22. Comparación múltiple de medias para caracteres de rendimiento y calidad en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.

FV	Nivel	Rha	PF123	PF1	PF2	PF3	NF123	NF1	NF2	NF3
		(t·ha <sup>-1</sup> )	-----kg·Planta-----				-----Frutos·planta-----			
<b>VS</b>	200ml	64.03a	1.6211 a	1.26486 a	0.34465 a	0.01a	13.8a	10.63a	2.95a	0.3a
	25ml	59.50a	1.5065 a	1.24621 a	0.25604 b	0.004a	12.36a	10.13a	2.06b	0.16a
	DMS	10.42	0.2639	0.2261	0.0615	0.008	1.71	1.47	0.53	0.25
<b>MIM</b>	Siembra	65.00a	1.6456 a	1.34207 a	0.29618 a	0.007a	13.66a	11.03a	2.43a	0.18a
	Trasplante	58.53a	1.482 a	1.169 a	0.30451 a	0.008a	12.58a	9.73a	2.57a	0.27a
	DMS	10.42	1.7114	0.2261	0.0615	0.008	1.71	1.47	0.53	0.25

FV: fuente de variación, VS: volumen de sustrato, MIM: momento de inoculación micorrízica, Rha: rendimiento por hectárea, PF123: peso total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, NF123: Número total de frutos, NF1, NF2 y NF3: Número de frutos de primera segunda y tercera calidad, DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.01$ ).

### **8.3 Medias de combinaciones de niveles de factores**

Los tratamientos T1 (inoculación al trasplante + 200 ml de sustrato), T3 (inoculación a la siembra + 200 ml de sustrato) y T5 (no inoculado en 200 ml) fueron superiores para los caracteres de vigor en plántula (AF, DT y VR) en comparación con los tratamientos T2 (inoculación al trasplante + 25 ml de sustrato), T4 (inoculación a la siembra + 25 ml de sustrato) y T6 (no inoculado + 25 ml de sustrato), indicado que la mayor expresión de vigor en plántula de calabacita se obtuvo en los tratamientos que contenían el mayor volumen de sustrato (200 ml) sobre los tratamientos con menor volumen de sustrato (25 ml).

En contraposición la longitud de tallo, los tratamientos T2, T4 y T6 fueron estadísticamente superiores, pero inferiores en vigor si se consideran deseables tallos cortos en la producción de plántulas por encima de tallos largos.

Como se mencionó anteriormente la diferencia estadística en los caracteres de vigor de plántula (AF, DT y VR) se debieron probablemente a las mejores condiciones para la raíz y a la menor competencia por radiación solar entre las plántulas con 200 ml de sustrato; en cambio las plántulas con 25 ml de sustrato mostraron respuesta negativa visibles, en largo de tallo (LT), el cual es superior en las plántulas con 25 ml de sustrato y puede ser tomado en general como un alargamiento común en plántulas que compiten por radiación solar.

El tratamiento T1 (inoculación al trasplante + 200 ml de sustrato) fue numéricamente superior a los demás tratamientos para Rha, PF123, PF2, NF123, NF1 y NF2; sin embargo fue el tratamiento T3 (inoculación a la siembra + 200 ml de sustrato) en el que se obtuvo mayor peso de frutos de primera calidad (frutos deseables) (Cuadro 24 y 25).

Los tratamientos T1, T2, T3 y T4 son estadísticamente similares entre sí para Rha, PF123, PF1, PF3, NF1, NF3, DFF, DFM y Pcol.

Cuadro 23. Comparación múltiple de medias factorial para caracteres de vigor en plántulas de calabacita hidropónica en invernadero.

Trat	MIM	VS	AF	----- (cm) -----		VR (ml)
				LT	DT	
1	TRASPLANTE	200	85.875 a	9.175 c	0.4325 b	27.975 b
2	TRASPLANTE	20	54.6 c	16.725 a	0.325 c	19.175 c
3	SIEMBRA	200	80.9a	9.5 c	0.485 a	32.275 a
4	SIEMBRA	20	43.275 d	14.725 b	0.3125 c	18.875 c
5	TESTIGO	200	82.05 ab	8.575 c	0.4175 b	31.2 a
6	TESTIGO	20	53.7 c	15.425 ab	0.34 c	18.225 c
<b>DMS</b>	---	---	5.31	1.366	0.0303	2.328

Trat: tratamientos MIM: momento de inoculación micorrízica, VS: volumen de sustrato, AF: área foliar, LT: longitud de tallo, DT: diámetro de tallo, VR: volumen de raíz, DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.01$ ).

Cuadro 24. Comparación múltiple de medias para caracteres de rendimiento y calidad en calabacita hidropónica en invernadero.

Trat	VS	MIM	Rha (t·ha <sup>-1</sup> )	-----kg·Planta-----				----Frutos·Planta----			
				PF123	PF1	PF2	PF3	NF123	NF1	NF2	NF3
1	200	T	68.34a	1.73a	1.33a	0.38a	0.01a	14.37a	11 a	3.15a	0.22a
2	20	T	59.72ab	1.51ab	1.19ab	0.30ab	0.01a	13.4a	10.2ab	2.75ab	0.37a
3	200	S	61.66ab	1.56ab	1.34a	0.21bc	0.002a	10.2b	8.02b	2.05abc	0.12a
4	20	S	57.35ab	1.45ab	1.14ab	0.30ab	0.004a	12.9ab	11.0a	1.72bc	0.15a
5	200	---	45.13b	1.14b	0.90b	0.23bc	0.002a	11.7ab	9.2ab	2.4abc	0.17a
6	20	---	49.16b	1.17b	1.003b	0.16c	0.0009a	10.2b	8.35ab	1.3c	0.05a
<b>DMS</b>	---	---	18.2	0.4608	0.407	0.13	0.0143	3.03	2.71	1.17	0.45

Trat\_ tratamientos, VS: volumen de sustrato, MIM: momento de inoculación micorrízica, Rha: rendimiento por hectárea, PF123: pesó total de frutos. PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad, NF123: Número total de frutos. NF1, NF2 y NF3: Número de frutos de primera segunda y tercera calidad, DMS: diferencia mínima significativa, tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.01$ ).

## **IX. Conclusiones**

Las plántulas de calabacita que se desarrollaron en volúmenes de 200 ml de sustrato fueron más vigorosas (Mayor área foliar, diámetro de tallo, volumen de raíz y tallo corto) con respecto a las que se desarrollaron en 25 ml de sustrato, ventaja que no prevaleció para rendimiento, calidad y precocidad.

El momento de inoculación micorrízica en general no afectó el vigor de plántulas (AF, LT, DT y VR) de calabacita ni al de rendimiento y calidad del producto.

El porcentaje de colonización no correlacionó con ninguna de las variables respuesta, lo que indica que no hay una relación directa entre el porcentaje de colonización y los beneficios obtenidos por la planta en rendimiento, calidad y sus componentes con la aplicación de micorriza en sistema hidropónico.

## X LITERATURA CITADA

- Abdel-Fattah G.M. y Shabana Y.M. 2002. Efficacy of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus clarum*) in protection of cowpea plants from root rot pathogen *Rhizoctonia solani*. *J Plant Dis Protect.* 109(2):207-215.
- Abdel-Fattah G.M., El-Haddadb S.A., Hafez E.E., Rashadd Y.M. 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. *Microbiological Research.* 166: 268-281.
- Acosta L R y M R Rodríguez. 1988. Detección, aislamiento e identificación de virus en cucurbitáceas mediante plantas diferenciales. *Rev. Méx. Fitop.* 6:160-165.
- Agarwal P. y Sah P. 2009. Ecological importance of ectomycorrhizae in world forest ecosystems. *Nature and Science*, 7: 107-110
- Aguas, R.T., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González Ch., A. Villegas-Monter y A. Martínez G. 1995. Efecto del fósforo, vermicomposta, cachaza e inoculación micorrízica en el desarrollo *Carica papaya* L. pp. 106. In: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch., y R. Quintero L. (eds.). *La investigación edafológica en México 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.* Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- Aguilera-Gómez LI, Olalde-Portugal V, Arriaga MR, Contreras Alonso R. 2008. Micorrizas Arbusculares. *Ciencia Ergo Sum* 14: 300-306.
- Akiyama K., Matsuzaki K., Hayashi H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature.* 435: 824-827.
- Hause B., Mrosk C., Isayenkov S., Dieter S. 2007. Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochem.* 68(1): 101-110.
- Alarcón A. 2007. Micorriza arbuscular. In: Ferrera-Cerrato R, Alarcón A (eds) *Microbiología agrícola.* Editorial Trillas México, D. F. 90-119 pp.

- Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1995. Niveles de vermicomposta y micorriza arbuscular en el desarrollo de plántulas de *Casuarina equisetifolia* a nivel de vivero. p. 84. In: Memorias de la Primera Reunión Internacional de Ecología Microbiana. Centro de Investigación y Estudios Avanzados-IPN. México, DF.
- Alarcon, A.; M. C. Gonzalez-Chavez; R. Ferrera-Cerrato C. y A. Villegas-Monter. 2001. Efectividad de *Glomus fasciculatum* y *Glomus etunicatum* en el crecimiento de plántulas de *vitis vinífera* L. obtenidas por micropropagación. *Rev Terra*. 19 (1): 29-35.
- Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat Rev Microbiol*. 6: 763-775.
- Azcón-Aguilar C del Val C, Barea JM, (1999) Diversity of arbuscular mycorrhizal fungus populations in heavy-metal contaminated soils. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 718-723.
- Bago B., Pfeffer E., Shachar Y. 2000. Carbon Metabolism and Transport in Arbuscular Mycorrhizal. *Plant Physiol*. 124: 949-958.
- Bethlenfalvay, G. J. 1992. Mycorrhizae in the agricultural plant-soil system. *Symbiosis* 14:413-425.
- Bethlenfalvay, G.J.; LINDERMAN, R.G. 1992. Preface. In *Mycorrhizae in sustainable agriculture*. Ed. by GARBAYE, J. 1994. Les bacteries auxiliaires de la mycorrhizienne. Acta bot. Gallica 141(4):517-521.54. p. 45-70.
- Bever, J.D., Pringle, A., Schultz, P.A., 2002. Dynamics within the plant - Arbuscular mycorrhizal fungal mutualism: Testing the
- Bindschedler L.V., Dewdney J., Blee K.A., Stone J.M., Asai T., Plotnikov J., Denoux C., Hayes T., Gerrish C., Davies D.R., Ausubel F.M., Bolwell G.P. 2006. Peroxidase-dependent apoplastic oxidative burst in *Arabidopsis* required for pathogen resistance. *Plant Journal*. 47: 851–863.

- Blancard D, H Lecoq, M Pitrat. 1991. Enfermedades de las cucurbitáceas observar, identificar y luchar. (Ed.) Mundi Prensa, Madrid, España. 301 p.
- Bonfante P., Requena N. 2011. Dating in the dark: how roots respond to fungal signals to establish arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Current Opinion in Plant Biology*. 14(4):451–457.
- Caris C, Hordt W, Hawkins HJ, Romheld V, George E (1998) Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza* 8(1): 35-39.
- Castillo-González, Ana Ma.;Avitia-García, Edilberto;Corona-Torres, Tarsicio Inoculación en duraznero con productos micorrízicos comerciales *TERRA Latinoamericana*, Vol. 24, Núm. 2, abril-junio, 2006, pp. 293-297.
- Chandanie W.A., Kubota I.T.O.M., Hyakumachi M.M. 2006. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus moss*
- Colla, G., Y. Rouphael, M. Cardarelli, M. Tullido, A. M. Rivera, and A. Rea. 2008. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils* 44:501-509.
- Cordier C., Pozo M.J., Barea J.M., Gianinazzi S., Gianinazzi- Pearson V. 1998. Cell defense responses associated with localized and systemic resistance to *Phytophthora* induced in tomato by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Mol. Plant Microbe Interact.* 11:1017-1028.
- Daniell TJ, Husband R, H Fitter A, Young JPW (2001) Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing arable crops. *FEMS Microbiology Ecology* 36: 203-209.
- Davies, Jr., F. T., V. Olalde-Portugal, L. Aguilera-Gomez, M. J. Alvarado, R. C. Ferrera-Cerrato, and T.W. Boutton. 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capicum annum* L. cv. San Luis) whit arbuscular mycorrhiza indigenous to mexico. *Scient. Hort.* 92:347-359
- Delgadillo S. F.1990. Enfermedades causadas por virus fitopatógenos. *Rev. Méx. Fitop.* 8:99-101.

- Dicke M., Hilker M. 2003. Induced plant defenses: from molecular biology to evolutionary ecology. *Basic Appl. Ecol.* 4: 3-14.
- eae and plant growth promoting fungus *Phoma* sp. on their root colonization and disease suppression of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Annu Rep Int Res Inst Environ Sci.* 24: 91-102.
- Emiliani, G., Fondi, M., Fani, R., Gribaldo, S., 2009. A horizontal gene transfer at the origin of phenylpropanoid metabolism: a key adaptation of plants to land. *Biology Direct.* 4:7.
- Escobar-Acevedo JC, Zuluaga-Peláez JJ, Colorado-Gasca G, Páez D. 2007. Micorriza vesícula arbuscular (MVA) Recurso microbiológico para desarrollar una agricultura sostenible. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Bogotá, Colombia. 20 p.
- Fritz M., Jakobsen I., Lyngkjaer M.F., Thordal-Christensen H., Pons-Kuehnemann J. 2006. Arbuscular mycorrhiza reduces susceptibility of tomato to *Alternaria solani*. *Mycorrhiza.* 16:413-419.
- Fritz M., Jakobsen I., Lyngkjaer M.F., Thordal-Christensen H., Pons-Kuehnemann J. 2006. Arbuscular mycorrhiza reduces susceptibility of tomato to *Alternaria solani*. *Mycorrhiza.* 16:413-419.
- Gadkar V., Schwartz R., Kunik T., Kapulnik Y. 2001. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonization Factors Involved in Host Recognition. *Plant Physiology.* 127: 1493–1499.
- Gange A. 2006. Insect–mycorrhizal interactions patterns processes, and consequences. En: *Indirect Interaction Webs: Nontrophic Linkages Through Induced Plant Traits.* Cambridge U. Press; 2006:124-144.
- Gardezi A K, R García E, R Ferrera-Cerrato, M Larqué S (1999) Effect of arbuscular mycorrhizae on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in naturally infested soil with *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 17:23-28.
- Garzón T. J. A.1988. Enfermedades causadas por virus en tomate, chile y cucurbitáceas en México. In: Delgadillo SF, Garzón JA, Vega. 1989. Cucurbit viruses in Mexico. *Rev. Méx. Fitop.* 7:136-139.

- Genre A., Chabaud M., Faccio A., Barker D., Bonfante P. 2008. Prepenetration Apparatus Assembly Precedes and Predicts the Colonization Patterns of Arbuscular Mycorrhizal Fungi within the Root Cortex of Both *Medicago truncatula* and *Daucus carota*. *The Plant Cell*. 20:1407-1420.
- Genre A., Chabaud M., Faccio A., Barker D., Bonfante P. 2008. Prepenetration Apparatus Assembly Precedes and Predicts the Colonization Patterns of Arbuscular Mycorrhizal Fungi within the Root Cortex of Both *Medicago truncatula* and *Daucus carota*. *The Plant Cell*. 20:1407-1420.
- González CM, Gutiérrez CM, Wright S. 2004. Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. *Terra Latinoamer*. 22(4): 507-514.
- González-Chávez, M. C.; Ferrera-Cerrato, R. 1995. La endomicorriza vesículo arbuscular. Asociación simbiótica entre hongos para la producción de frutales. *Agroproductividad* No. 3: 11–17.
- Guenoune D, Galili S, Phillips DA, Volpin H, Chet I, Okon Y, Kapulnik Y. 2001. The defense response elicited by the pathogen *Rhizoctonia solani* is suppressed by colonization of the AM-fungus *Glomus intraradices*. *Plant Sci*.160(5):925-932.
- Guillon C., St-Arnaud M., Hamel C., Jabaji-Hare S. 2002. Differential and systemic alteration of defence-related gene transcript levels in mycorrhizal bean plants infected with *Rhizoctonia solani*. *Canadian Journal of Botany*. 80(3):305— 315.
- Guzmán-González S, Farías-Larios J. 2005. Biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. *Avances en Investigación Agropecuaria* 9:17-31.
- Hacisalihoglu G., Duke E., Longo L. 2005. Differential response of common bean genotypes to mycorrhizal colonization. *Proc Fla State Hortic Soc*.118:150—152.
- Harley J.L., Smith S.E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London.

- Harrier L.A., Watson C.A. 2004. The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Manag Sci.* 60(2): 149—157.
- Harris-Valle C, Esqueda M, Valenzuela-Soto EM, Castellanos A.E. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 265-271.
- Harris-Valle, Citlalli; Esqueda, Martín; Valenzuela-Soto, Elisa; Castellanos, Alejandro. 2011. Tolerancia a sequía y salinidad en cucurbita pepo var. pepo asociada con hongos micorrízicos arbusculares del desierto sonorense". *agrociencia*, núm. noviembre-diciembre, pp. 959-970.
- Hause B., Mrosk C., Isayenkov S., Dieter S. 2007. Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochem.* 68(1): 101-110.
- Hernández B. G. 1978. Cucurbitaceas. *In*: T Cervantes S (ed). Recursos Genéticos Disponibles a México. SOMEFI. Chapingo, México. pp:357-367.
- Hu J., Lin X., Wang J., Shen W., Wu S., Peng S., Mao T. 2010. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculation Enhances Suppression of Cucumber *Fusarium* Wilt in Greenhouse Soils. *Pedosphere.* 20(5): 586–593.
- Karandashov V, Kuzovkina I, Hawkins HJ, George E. 2000. Growth and sporulation of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus caledonium* in dual culture with transformed carrot roots. *Mycorrhiza* 10: 23-28.
- Kiers ET, van der Heijden G.A. 2006. Mutualistic stability in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: exploring hypotheses of evolutionary cooperation. *Ecology* 87: 1627-1636.
- Koide, R.T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist* 117:365-386

- Lebeda A, M P Widrlechner, J Staub, H Ezura, J Zalapa, E Křistová. 2007. Cucurbits (Cucurbitaceae; *Cucumis* spp., *Cucurbita* spp., *Citrullus* spp.) *In: Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement*. Vol. 3. Vegetable Crops. R J Singh (ed). CRC Press. Boca Raton, FL, USA. pp:271-376.
- Leskovar, D. I., and P. J. Stoffella. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortScience* 30: 1153-1159.
- Li H.Y., Yang G.D., Shu H.R., Yang Y.T., Ye B.X., Nishida I., Zheng C.C. 2006. Colonization by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* induces a defense response against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* in the grapevine (*Vitis amurensis* Rupr.), which includes transcriptional activation of the class III chitinase gene VCH3. *Plant Cell Physiol.* 47:154-163.
- Lira-Saade R. 1995. Estudios taxonómicos y eco geográficos de las cucurbitáceas latinoamericanas de importancia económica. IPGRI. Roma, Italia. 281 p.
- Liu J., Maldonado I., Lopez M., Cheung F., Town C., Harrison M. 2007. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. *Plant J.* 50 (3):529-544.
- Marr, C. W. and M. Jirak. 1990. Holding tomato transplanting in plug trays. *HortScience* 25: 173-176.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Marschner, H. and B. Dell, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soli*, 159: 89-102.
- Marsh, D. B. and K. B. Paul. 1988. Influence of container type and cell size on cabbage transplant development and field performance. *HortScience* 23: 310-311.

- Martínez LB, Pugnaire F.I. 2009. Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos. *Ecosistemas* 18: 44-54.
- Mirabal L, Ortega E, Rodés R, Fernández F. 2002. Método efectivo para la desinfección total de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA): aislamiento y caracterización de bacterias endospóricas en *Glomus clarum*. *Cultivos tropicales* 23: 21-24.
- Moreno-Pérez, Esaú del C.; Sánchez-del Castillo, Felipe; González-Molina, Lucila; Pérez-Mercado, Claudio A.; Magaña-Lira, Natanael. 2011. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. *Terra Latinoamericana* 29: 57-63.
- Mucciarelli, M., Scannerini, S., Berteza, C., Maffei, M. 2003. In vitro and in vivo peppermint (*Mentha piperita*) growth promotion by nonmycorrhizal fungal colonization. *New Phytologist*, 158: 579-591.
- Nature of community feedback. *Mycorrhizal Ecology* 157:267-292.
- NeSmith, D. S. and J. R. Duval. 1998. Transplant production and performance: The effect of container cell size. *HortTechnology* 8: 495-498.
- Newsham, K.K., A.H. Fitter & A.R. Watkinson. 1995. Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *TREE*. 10: 407-411.
- Nieto, G. A., A. B. Murillo., D. E. Troyo., M. L. Larrinaga., J. A. García. 2002 El uso de compostas como Vermicomposta como alternativa. Alternativa ecológica para la producción sostenible de Chile (*Capsicum annum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27(8):417-421.
- O'CONNOR, P.J.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. *New Phytologist*, v.154, p.209-218, 2002.
- Parniske M. 2004. Molecular genetics of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Curr Opin Plant Biol.* 7:414- 421.Parniske M. 2008.
- Parniske M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nat Rev Microbiol.* 6: 763-775.

- Pérez G, Márquez M S, y Peña L. A. 1998. Mejoramiento genético de hortalizas. (Ed.). Mundi-prensa. México 380 p.
- Peterson, T. A., M. D. Reinsel, and D. T. Krizek. 1991a. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Better Bush). Plant response to root restriction. I. Alteration of plant morphology. *J. Exp. Bot.* 42: 1233-1240.
- Peterson, T. A., M. D. Reinsel, and D. T. Krizek. 1991b. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. Better Bush). Plant response to root restriction. II. Root respiration and ethylene generation. *J. Exp. Bot.* 42: 1241-1249.
- Pimentel-Maldonado E. 2006. Inoculación micorrízica en el cultivo de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero y fertirriego. Chapingo. Texcoco. Edo de México.
- Pozo M., Azcón-Aguilar C. 2007. Unraveling mycorrhizal-induced resistance. *Curr Opin in Plant Biology.* 10: 393-398.
- Pozo M., Cordier C., Dumas-Gaudot E., Gianinazzi S., Barea J. and Azcón-Aguilar C. 2002. Localized vs systemic effect of arbuscular mycorrhizal fungi on defence responses to *Phytophthora infection* in tomato plants. *J Exp Bot.* 53: 525-534.
- Preciado R., P., G. A. Baca C., J. L. Tirado T., J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina C. y A. Martínez G. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20: 267-276.
- Provvidenti R, Gonsalves D. 1984. Occurrence of zucchini yellow mosaic virus in cucurbits from Connecticut. New York. *Plants Disease* 68:443-446.
- QUerejeta J.I., Barea J.M., Caravaca F., Roldán A., 2003. Differential response of delta C-13 and water use efficiency to arbuscular mycorrhizal infection in two aridland woody plant species. *Oecologia* 135, 510-515.

- Quiñones, A.E.E., D. Trejo A., T. Aguas R., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González Ch. 1995. Respuesta de papaya (*Carica papaya* L.) a la inoculación con la endomicorriza arbuscularen tres sustratos. p. 96. In: J.L. Tovar S., V. Ordaz Ch. y R. Quintero L. (eds.). La investigación edafológica en México 1992-1995. Memorias XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México *Ramírez-Gómez M.; Rodríguez A.* 2012. Mecanismos de defensa y respuestas de las plantas en la interacción micorrícica: una revisión Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. XIV No. 1 Julio 2012 271-284.
- Read D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47:376-391.
- Manjarrez M., M.J., R. Ferrera-Cerrato y M.C. González-Chávez. 1996. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en dos especies hortícolas. p. 33. In: Programas y Resúmenes. 1er. Symposium Nacional de la Simbiosis Micorrízica. Octubre 9-11. Xalapa, Veracruz.
- Reghin, M. Y., R. F. Otto, J. R. Olinik, e C. F .S. Jacoby. 2006. Produção de cebola sobre palhada a partir de mudas obtidas em bandejas com diferentes números de células. *Hortic. Bras.* 24: 414-420.
- Remy W., Taylor T.N., Hass H., Kerp H. 1994. Four hundred million year old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proc Natl Acad Sci USA.* 91: 11841-11843.
- Resh, H. M. 1997. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Reyes-Jaramillo I. 2002. Asociaciones biológicas en el suelo: la micorriza arbuscular (MA). *Contacto* 44: 5-10.
- SAGARPA 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de Estadística Agropecuaria. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Tomo II. 765 p.
- SAGARPA  
<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf> (consultado el 20 de noviembre de 2012)

- Saif, S. R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *Angew. Bot.* 60: 125-139.
- Saif, S.R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. *Angew. Bot.* 60: 125-139.
- Sakurai, K., A. Ogawa, C. Kawashima, and M. Chino. 2007. Effects of biodegradable seedling pots on growth and nutrient concentrations of tomato plants: 2. Growth and nutrient concentrations after transplanting. *Bioresour. Technol.* 98: 2781-2786.
- Sánchez del C. F. y R. E. R. Escalante. 1988. Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sánchez del C. F., C. J. Ortiz, C. C. Mendoza, H. V. González y L. M. T. Colinas. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33: 21-29.
- Sánchez-del Castillo, Felipe; Moreno-Pérez, Esaú del C.; Morales-Maza, Antonio; Peña-Lomelí, Aureliano; Colinas-León, María T.. 2012. Densidad de población y volumen de sustrato en plántulas de jitomate (*Lycopersicon lycopersicon* Mill.). *Agrociencia* 46: 255-266.
- Schüßler A, Walker C. 2010. The *Glomeromycota*. A species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Edinburgh, The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University. [www.amf-phylogeny.com](http://www.amf-phylogeny.com).
- Shah-Gardizi. H. 2011. Hongos endomicorrízicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Shaul O., Galili S., Volpin H., Ginzberg I., Elad Y., Chet I., Kapulnik Y. 1999. Mycorrhiza-induced changes in disease severity and PR protein expression in tobacco leaves. *Mol. Plant Microbe Interact.* 12:1000-1007.
- SIAP 2013 ([http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350)).

- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx). (Consulta: mayo 01, 2013).
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Federal Republic of Germany. Eschborn.
- Singh A. K. 1979. Cucurbitaceae and polyploidy. *Cytologia* 74:897-905.
- Smith S., Read D. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press.
- Stürmer S.L. 2012. A history of the taxonomy and systematics of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota. *Mycorrhiza* 22: 247-258.
- The physiology of vegetable crops. CABI Publishing. Department of Fruit and Vegetable Science, Cornell University. Ithaca, NY, USA.
- Urrestarazu G., M. 2004. Tratado de cultivos sin suelo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Valadez L.A. 1990. Producción de hortalizas (Ed.) Limusa, México, D.F. 223-233 pp.
- **van der Heijden MG.** 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi as a determinant of plant diversity: in search of underlying mechanisms and general principles. In: van der Heijden MGA, Sanders IR (Ed.). *Mycorrhizal Ecology*. Heidelberg : Springer Verlag. pp. 243–265.
- Varela L, Trejo D. 2001. Los hongos micorrizógenos arbusculares como componentes de la biodiversidad del suelo en México. *Acta Zoológica Mexicana* 1: 39-51.
- Velasco-Velasco. J., Ferrera-Cerrato. ,Almaraz-Suárez. J. 2001. vermicomposta, micorriza arbuscular y azospirillum brasilense en tomate de cáscara, *TERRA Latinoamericana*, julio-septiembre, año/vol. 19, número 003 pp. 241-248
- Villanueva V.C. 2007 Calabazas cultivadas. Identificación de especies, caracterización y descripción varietal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 123 p.

- Wang F. Y., Lin X. G., Yin, R. 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil. *Int. J. Phytorem.* 9: 345–353.
- Wang, F., Lin, X., Yin, R. 2005. Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizas of *Elsholtzia splendens* and the potential for phytoremediation of contaminated soil. *Plant Soil.* 269: 225–232.
- Weeden N F (1984) Isozyme studies indicate that the genus *Cucurbita* is an ancient tetraploid. *Cucurbit Genet. Coop. Rep.* 7:84-85.
- Weston, L. A. 1988. Effect of flat cell size, transplant age, and production site on growth and yield of pepper transplant. *Hortscience* 23: 709-711.
- Weston, L. A. and B. H. Zandstra. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 498-501.
- Whipps J. 2004. Prospects and limitations for mycorrhizas in biocontrol of root pathogens. *Can. J. Bot.* 82:1198-1227.
- Whitaker T W (1974) *Cucurbita*. In: Handbook of Genetics. R C King (ed.). Plenum Press. New York, USA. pp: 135-144.
- Wien, H. C. 1999. Trasplanting. pp. 37-68. In: H. C. Wien (ed).
- Xoconostle-Cázares B, Ruiz-Medrano R (2002) Impacto de la biotecnología agrícola en cultivos: el caso de las micorrizas. *Avance y Perspectiva* 21: 263-266.
- Xoconostle-Cázares, B. y Ruiz-Medrano, R. Communication in plant-mycorrhiza interaction. Is there macromolecular trafficking? 14th Annual Beckman Frontiers of Science Symposium. Irvine, CA, EUA (2002).