



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



"ENSEÑAR LA EXPLOTACION DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

HONGOS ENDOMICORRÍZICOS COMBINADOS CON COMPOSTA EN CALABACITA HIDROPONICA EN INVERNADERO

TESIS:

Presenta

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIA EN HORTICULTURA

PRESENTA:

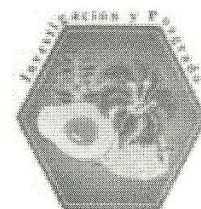
HABIB SHAH GARDIZI

Febrero de 2011

Chapingo, Estado de México

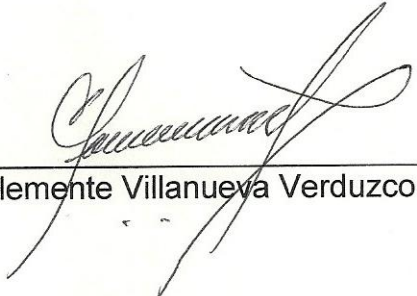


DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
EXAMENES PROFESIONALES



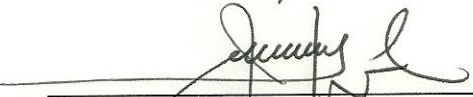
Este trabajo de tesis realizado por el Ing. Habib Shah Gardizi, intitulado "Hongos endomicorrízicos combinados con composta en calabacita en hidroponía", en el campo agrícola experimental de la UACH, fue realizado bajo la dirección del Dr. Clemente Villanueva Verduzco, ha sido revisada y aprobada por el siguiente comité revisor.

Director de tesis:



Dr. Clemente Villanueva Verduzco

Asesor:



Dr. Efraín Contreras Magaña

Asesor:



M. C. Domingo Montalvo Hernández

DATOS BIOGRÁFICOS

EL AUTOR DE LA PRESENTE TESIS NACIÓ EL 20 DE ENERO DE 1984 EN EL ESTADO DE PAKTYA, AFGANISTAN. REALIZÓ SUS ESTUDIOS DE PRIMARIA SECUNDARIA Y PREPARATORIA EN EL CAPITAL DEL MISMO ESTADO, EN LA ESCUELA DE ABDUL HAY GARDEZI. EN 2002 INGRESA A LA UNIVERSIDAD DE CABUL, EN LA CAPITAL DE AFGHANISTAN. DE DONDE EGRESA EN EL 2006, CON EL TITULO DE INGENIERO AGRÓNOMO. EN EL 2007 PRESTÓ SUS SERVICIOS AL FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). EN UN PROYECTO DE CAPACITACIÓN.

EN EL 2008, TRABAJÓ EN EL INVERNADERO, EN EL COLEGIO DE POSGRADUADOS. HA PARTICIPADO EN DIVERSOS CURSOS, CONGRESOS, REUNIONES Y SIMPOSIOS, COMO ASISTENTE. EN ENERO DEL 2009 INGRESA AL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA PARA INICIAR ESTUDIOS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

AGRADECIMIENTOS

A Allah, por haberme permitido estar en donde ahora me encuentro, por ser el arquitecto de mi vida, siempre me concedió la fortaleza necesaria para enfrentar los juegos de la vida.

A la Universidad de Kabul, mi Alma Mater, que me ha brindado todas las bases del conocimiento, necesarias para mi formación profesional. A la Universidad Autónoma Chapingo que me ha aceptado y dado la gran oportunidad de ampliar mis conocimientos.

A la Instituto de Horticultura y a todos sus profesores que contribuyeron a mi formación académica.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco por creer en mí, por su paciencia, amistad, apoyo y dirección para la realización de este trabajo.

Al resto del Honorable Jurado Examinador, Dr. Efraín Contreras Magaña, M. C. Domingo Montalvo Hernández, por sus aportaciones sugerencias y comentarios que enriquecieron el contenido del presente trabajo.

Al Departamento de Fitotecnia, en especial a los ayudantes del Dr. Clemente, Señor Maximino Ramírez Ayala y Sr. José Vicente Carrillo Solano, por su gran apoyo en campo, sin su participación no hubiera sido posible el éxito de este trabajo.

Y a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera para lograr este estudio.

DEDICATORIA

A mis padres, los dos grandes seres que Dios me dio y que juegan el papel más importante de mi vida: Haji Mubarak Shah Gardizi y Bibi haji. Su infinito amor, su confianza, sus sabios consejos y grandes sacrificios fueron mi motor para lograr y alcanzar una meta más en mi vida, la cual representa la herencia más importante que puedan dejarme. Por todo esto, gracias.

A mi esposa Palwasha Gardizi a mi hija Madina Gardizi y a mi hijo Abdul Monib Gardizi, que les quiero mucho y gracias a su amor y apoyo que me han brindado es incomparable e inolvidable.

A mis hermanos y Abdul Jalil Gardezi, Dr. Abdul Khalil Gardezi, Ahmad Shah, Haji Sheer Shah, Haji Haybat Shah, Abdul Jamil, Abdul Saboor que además de ser mis amigos, han sido protectores, maestros y guías en situaciones difíciles y grandes compañeros en momentos de júbilo.

A mis hermanas por sus consejos y sabias palabras.

A mis sobrinos Dr. Abdul Basir Gardezi, Shareef Gardezi Javed Gardezi, Kabeer Gardezi, Nooran Shah, Abdul hay, Abdullah Mohammad Hamed y Abdul Rahman, por su alegría, inocencia y entusiasmo.

A mis demás familiares que en este momento escapan de mi mente, pero nunca de mi corazón.

A mis Suegros y a sus familias, porque en los momentos de flaqueza y debilidad, siempre estuvieron conmigo alentándome a seguir adelante, gracias por sus atenciones y sabios consejos.

A todos mis amigos quienes me brindaron su amistad y con los que he vivido momentos inolvidables, siempre los llevare en mi corazón. Y a todos los demás compañeros de clase con los que pase buenos momentos, durante estos 2 años.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Índice de cuadros.....	iii
Índice de figuras.....	iv
Resumen.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1.Especies cultivadas de calabaza.....	5
2.2 .Los elementos minerales esenciales.....	5
2.3 .Nutrición del cultivo de calabacita.....	9
2.4 .Niveles de referencia de una buena nutrición.....	10
2.5. Efecto de la aplicación de composta.....	11
2.5.1. Beneficios del uso de la composta.....	13
2.6. Micorriza.....	13
2.6.1. Definición.....	13
2.6.1.1. Endomicorriza o micorriza vesículo-arbusculares.....	14
2.6.1.2. Taxonomía.....	16
2.6.1.3. Estructura y función.....	17
2.6.1.4. Familia <i>Glomeraceae</i>	18
2.6.1.5. Ventajas y beneficios de los hongos arbusculares.....	19
2.6.2. Estudios realizados con micorrizas arbusculares.....	21
2.6.3. Cuantificación del porcentaje de colonización micorrizica.....	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Localización del experimento.....	25
3.2. Materiales.....	25
3.2.1. Variedad termo de calabacita.....	25
3.2.2.Siembra y trasplante.....	26
3.3.Diseño de tratamientos evaluados.....	26

3.4. Inoculación al trasplante.....	27
3.5. Caracteres evaluados.....	29
3.6. Solución nutritiva.....	30
3.7. Determinación del porcentaje de colonización (endomycorrizas).....	30
3.8. Análisis estadístico.....	31
3.8.1. Análisis de varianza.....	32
3.8.2. Comparaciones múltiples de medias.....	32
3.8.3. Análisis de correlación entre variables.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Análisis de la varianza.....	34
4.1.1. Comparaciones de medias de tratamientos.....	36
4.1.2. Comparaciones de medias de micorriza y composta.....	38
4.1.2.1. Niveles de factor micorriza.....	38
4.1.2.1.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes.....	38
4.1.2.1.2. Calidad y sus componentes.....	38
4.1.2.1.3. Porcentaje de colonización micorrizica.....	40
4.1.2.2. Niveles del factor composta.....	42
4.1.2.2.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes.....	42
4.1.2.2.2. Calidad y sus componentes.....	43
4.1.2.3. Análisis gráfico de la interacción micorriza x composta.....	43
4.1.2.3.1. Análisis grafico del rendimiento y sus componentes.....	43
4.1.2.4. Análisis gráfico para calidad y sus componentes.....	46
4.2. Correlaciones entre variables.....	49
4.2.1. Rendimiento y sus componentes.....	49
4.2.2. Calidad y sus componentes.....	50
4.2.3. Correlación entre variables agronómicas y sus componentes.....	51
5. CONCLUSIONES.....	53
6. BIBLIOGRAFÍA.....	55

INDICE DE CUADRO

	Página
Cuadro 1. Requerimientos de nitrógeno en la fertirrigación de calabacita.....	10
Cuadro 2. Contenido de nutriente absorbido en kg de nutrientes por tonelada de órgano cosechado.....	10
Cuadro 3. Valores de referencia del análisis foliar de tejidos de la calabaza/calabacita.....	11
Cuadro 4. Aportes de la composta al suelo.....	12
Cuadro 5. Efecto de aplicación de micorrizas.....	20
Cuadro 6. Ventajas y beneficios que aportan las micorrizas.....	21
Cuadro 7. Diversos caracteres de calabacita variedad Termo evaluados por....	26
Cuadro 8. . Diseño de los tratamientos del experimento de calabacita variedad Termo con siete niveles de composta y dos niveles de micorriza en hidroponía en invernadero.....	27
Cuadro 9. Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.	30
Cuadro 10. Cuadrados medios del análisis de varianza para cuatro caracteres de calabacita (Rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles de micorriza y composta en invernadero, Chapingo 2010.....	35
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para tres caracteres de calabacita (Calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles micorriza y composta en invernadero, Chapingo 2010.....	35
Cuadro 12. Comparaciones múltiples de medias de siete caracteres de calabacita hidropónica para RHA y calidad, en diversos niveles de composta y micorriza en invernadero. Chapingo, 2010.....	37
Cuadro 13. Comparación múltiples de medias de niveles de los factores micorriza y composta para siete caracteres de calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo, 2010.....	39
Cuadro 14. Porcentaje de colonización micorrízica por tratamiento en combinación de micorriza y composta en la producción de calabacita var. Termo.....	41
Cuadro 15. Correlaciones del rendimiento y sus componentes con otros caracteres del cultivo de calabacita cultivada en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.....	50
Cuadro 16. Correlación de calidades de fruto con otros caracteres del cultivo de calabacita cultivada en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.....	50
Cuadro 17. Correlación de días a floración y porte de planta con otros caracteres agronómicos del cultivo de calabacita, cultivada en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.....	52

INDICE DE FIGURAS

	página
Figura 1. Esporas típicas de hongos micorrízicos arbusculares.....	15
Figura 2. Vesículas e hifas de una micorriza vesículo-arbuscular, Colonizando la raíz de una planta,.....	18
Figura 3. Pasos metodológicos de clarificación y tinción de raíces colonizadas por hongos micorrízicos arbusculares (HMA) según el método: Phillips y Hayman (1970) modificado por ferrera-cerrato et al, (2004).....	23
Figura 4. Evaluación de la colonización por hongos micorrízicos arbusculares en el sistema radical de las plantas, con base al montaje de raíces teñidas sobre portaobjetos.....	24
Figura 5. Colocación de la composta.....	28
Figura 6. Inoculación de raíces.....	28
Figura 7. Trasplante de planta inoculada.....	28
Figura 8. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el rendimiento por hectárea de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	45
Figura 9. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el peso total de frutos de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	45
Figura 10. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el peso de frutos de primera calidad de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	46
Figura 11. El nivel de composta con y sin micorriza sobre peso de frutos de segunda calidad de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	46
Figura 12. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número total de frutos NTF de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	48
Figura 13. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número de frutos de primera calidad de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	49
Figura 14. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número de frutos de segunda calidad de calabacita hidropónica variedad Termo en invernadero.....	49

HONGOS ENDOMICORRIZICOS COMBINADOS CON COMPOSTA EN CALABACITA EN HIDROPONIA EN INVERNADERO

ENDOMYCORRHIZAL FUNGI COMBINED WITH COMPOST IN SUMMER SQUASH HYDROPONICS IN GREENHOUSE

Habib Shah Gardizi¹; Clemente Villanueva Verduzco²; Efraín Contreras Magaña²; Domingo Montalvo Hernandez²

Resumen

Se evaluó el efecto de la inoculación micorrízica (*Glomus* sp. Cepa Zac-19) combinada con composta en la producción de calabacita (*Cucurbita pepo*) en condiciones de invernadero e hidroponia en Chapingo México. Se aplicaron siete niveles de composta (0, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440 g de composta.12 kg⁻¹ de tezontle) y dos niveles de micorriza (0 y 20 g de inóculo/planta; el inóculo fue un preparado de 40 esporas de *Glomus* sp Zac 19 en cada 20 g de tezontle fino) fueron aplicados. Se estableció en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones en un arreglo factorial (7x2). Dos macetas con dos plantas en cada repetición constituyeron la unidad experimental. Cada maceta contenía 12 kg tezontle; la cantidad agregada de composta, se restó del tezontle para mantener los 12 kg. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para rendimiento por hectárea (RHA), total de frutos (NTF) y peso total de frutos sin considerar calidad (PTF); así como para número de frutos de primera y segunda calidad (NF1 y NF2) y peso acumulado de frutos de primera y segunda calidad (PF1, PF2). El mejor tratamiento fue la combinación de 720 g de composta, con 20 g de inóculo adicionado al sustrato para RHA (185.93 t·ha⁻¹) y sus componentes peso y número total de frutos (PTF, 5949.9 g/EU; NTF, 42 frutos/EU).

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

Summary

The effect of mycorrhizal inoculation (*Glomus* sp. Cepa Zac-19) combined with compost in the hydroponics production of summer squash (*Cucurbita pepo*) in the greenhouse, was assayed in Chapingo México. Seven levels of compost (0, 60, 120, 180, 360, 720 and 1440 g.12 kg⁻¹ tuff) and two levels of mycorrhizal (0 and 20 g of inoculums/planta⁻¹, the inoculums was a preparation of 40 spores *Glomus* sp Zac 19 per 20 g of fine tuff) were applied. The experiment was established in a randomized block design with four replications. Two pots with two plants in each one, was the experimental unit. Each pot contained 12 kg volcanic sand; the amount of compost applied was reduced from tuff to keep the 12 kg.

Significant differences were found between treatments for yield per hectare (AHR), total fruits (NTF) and total fruit weight without considering quality (PTF) as well as for number of fruits on first and second quality (NF1 and NF2) and cumulative weight fruits of first and second quality (PF1, PF2) and cumulative weight of fruits of first and second quality (PF1, PF2). The best treatment was the combination of 720 g of compost with 20 g inoculums added to the substrate Tezontle: volcanic foam) for RHA (185.93 t·ha⁻¹) and its components, total weight and number of fruits (PTF, 5949.9 g/EU; NTF, 42 fruits/EU).

Key words: Mycorrhizal fungi, fruit quality, yield per 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

1. INTRODUCCIÓN

La Calabacita es una de las especies hortícolas más importantes para consumo humano. Genera importantes ingresos, empleos y contribuye a la nutrición de los consumidores. En México se siembran alrededor de 26,318.01 ha, con un rendimiento promedio de 17.96 (t.ha⁻¹), con un valor de 1, 791,080.35 millones de Pesos (SAGARPA-SIAP, 2009).

Entre los principales países exportadores de calabacita están España que encabeza la lista, seguida es Nueva Zelanda y México se encuentra en tercer lugar. España es el primer exportador a nivel mundial a pesar de no ser el que más produce esto es debido a su tecnología avanzada en invernadero gracias a lo cual la producción se ve aumentada y mejorada (FAO 2007). La venta al exterior de calabaza, a pesar de no alcanzar los volúmenes de otras hortalizas como el jitomate o el pepino, se ubica como aquellas de segunda importancia, de tal forma que su participación dentro del total de los volúmenes exportados es de cerca de 7%, teniendo la mayor parte de las exportaciones destinadas a Estados Unidos.

Según datos de la FAO 2007 la producción mundial de calabaza es de 15.6 millones de toneladas métricas al año.

India ha sido el país con mayor superficie cultivada a nivel mundial (29.9 %) en el último seis años, seguido de China (18 %), Ucrania (4.3 %), Egipto (2.9 %), México (2.7 %), Argentina (1.9 %), Turquía (1.7 %) e Italia (1.2 %) (FAO 2007).

Los países que han tenido un mayor crecimiento de área cosechada durante el 2001 fueron: Ucrania (7.1 %) y México (3.2 %). En el año 2008 Egipto tuvo una tasa de crecimiento del 9 % (FAO 2007).

Los principales países latinoamericanos dedicados al cultivo de la calabaza son: México, Argentina, Chile, Bolivia, Perú y Ecuador.

El cultivo de calabacita en hidroponía en invernadero puede ser una importante alternativa de producción porque permite obtener mayor productividad y calidad de fruto. Además, es un cultivo del que se obtiene producción en poco tiempo, ya que comienza a producir a los 40 días después de la siembra, permitiendo que el agricultor pueda obtener ingresos en un corto plazo (Bojórquez, 2008).

En los cultivos agrícolas, la composta ayuda a mejorar asimilación de los nutrimentos ya sean presentes en el suelo o aplicados como fertilizantes; y contribuye a corregir preferentemente deficiencias de la 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 fosforo y otros micro y macro elementos esenciales para el desarrollo de los cultivos agrícolas (Gardezi *et al.*, 2008). La micorriza arbuscular, asociación benéfica de la mayoría de las plantas superiores descritas (>85 %), con hongos del orden de los Glomales, tiene influencia favorable en la aclimatación, establecimiento y crecimiento de las plantas (Smith y Read, 1997).

En México no se ha generalizado cultivar calabacita en invernadero debido a que el costo del fruto es bajo en determinadas épocas, sin embargo, al aumentar la producción se puede lograr el incremento del ingreso de los productores. Este incremento se puede lograr con la utilización de hongos micorrizicos combinados con composta en la producción de calabacita hidropónica en invernadero y puesto que hay pocas investigaciones respecto al tema, se realizo la presente investigación.

Objetivo

Determinar el efecto de la inoculación con hongos endomicorrízicos (*Glomus sp* Zac.19) en combinación con composta, sobre el desarrollo, rendimiento y calidad en calabacita hidropónica cultivada en invernadero.

Hipótesis

Las micorrizas *Glomus sp*, *Zac-19* inoculadas en tezontle en combinación con composta, colonizan eficientemente a las raíces de calabacita y al mejorar la absorción de nutrimentos provoca un mayor desarrollo, un incremento de la producción y mejora de la calidad de los frutos de calabacita cultivada en hidroponía en invernadero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Especies cultivadas de calabaza

Son cinco las especies cultivadas del género: *C. pepo* L., *C. moschata* Duch Ex Lam., *C. argyrosperma* Huber., *C. ficifolia* Bouché y *C. maxima* Duch Ex Lam., de las cuales las primeras cuatro están ampliamente distribuidas en México y *C. máxima* es originaria de Sudamérica (Perú, Colombia y Bolivia), (Villanueva, 2007).

Las diversas especies de calabacita, 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, maduros, semillas, flores y algunas partes vegetativas. Además del uso alimenticio, las calabazas se pueden emplear con fines industriales, comerciales, medicinales y tradicionales como recipientes para artesanía (Villanueva, 2007).

Cucúrbita pepo L. fue la primera en difundirse en el mundo y actualmente es la especie cultivada más ampliamente distribuida. Como consecuencia, su variación abarca numerosos grupos de variedades comerciales con gran diversidad de caracteres morfológicos y agronómicos; solo algunas de ellas como *termo*, *cocozelle* y *zucchini* son cultivadas a gran escala a todo el mundo y son las representantes más conocidas del género *Cucúrbita* (Villanueva, 2007).

2.2. Los elementos minerales esenciales

Hay 16 elementos que han sido identificados como esenciales (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl) para el crecimiento y desarrollo normal de todas las plantas. Estos 16 elementos se dividen en dos grupos: macro nutrientes (C, H, O, N, P, S, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Cl). Los criterios de esencialidad fueron establecidos por Arnon y Stout (1939).

Ya que es difícil justificar la calificación de los elementos minerales en macro y micronutrientes desde el punto de vista fisiológico, considerando solo la

concentración presente en los tejidos de las plantas, también se recurre al papel bioquímico y función fisiológica que cada elemento mineral juega en la nutrición.

Los elementos minerales también se clasifican en cuatro grupos por sus correspondientes funciones, Mengel y Kirkby (1979).

Grupo uno. Nutrimientos constituyentes mayores de la materia orgánica:

- **Nitrógeno.** Es un elemento mineral de mayor utilidad en el desarrollo de los plantas. Sus formas iónicas de absorción son como nitratos (NO_3^-) y como amonio (NH_4^+) (Sánchez, 2000). En la planta, el N participa en la formación de compuestos de elevado peso molecular como las proteínas y ácidos nucleicos; y de forma orgánica como los aminoácidos, amidas, aminas, y nucleótidos. La concentración en la materia seca varia de 0.06 a 0.32% (Taiz y Zeiger, 2002).
- **Azufre.** Las formas asimilables del azufre por la planta son como un ión sulfato (SO_4^{2-}) (Papadopoulos, 1991). Se transporta por el xilema y los estomas, se pueden absorber como dióxido de azufre (SO_2). Forma parte de los sulfolípidos y heteropolisacaridos (como sulfato), del amino ácido como la cistaina, la metionina, la cistina y las proteínas (en forma reducida); de diversas coenzimas como la tiamina, biotina, coenzima A, ácidos orgánicos, pirofosfatos, glutatión, adenosin-s-fosfosulfato 3-fosfoadenosina. Los niveles de concentración normal fluctúan entre 0.1 y 1 % de materia seca (Bonilla, 2000).

Grupo dos. Nutrimientos importantes en la integridad estructural o almacenamiento de la energía:

- **Fosforo.** Las plantas absorben como ión fosfato (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}). Se encuentran en las plantas como fosfato, ya sea en forma libre o como

compuesto orgánico, como éster fosfórico con grupos hidroxilos forma enlaces anhídridos ricos en energía como ATP o ADP. Juega un papel clave en la fotosíntesis, la respiración y todo el metabolismo energético, formando ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos y varios tipos de azúcares fosfatados (Mengel y Kirkby, 1979; Sánchez, 2000).

- **Boro.** Se encuentra en pared celular puede estar disponible como ácido bórico (H_3BO_3) o como borato (BO_3^-). Se le asocia con la estabilidad de estas debido a sus enlaces éster que establece con los grupos cis-dioles polimanurónico. Se le involucra en alargamiento celular, germinación, regulación hormonal y en metabolismo de ácido nucleicos. También evita la acumulación excesiva de compuestos fenólicos, tanto en la raíz como en los tallos. La concentración de boro oscila entre 25-250 mg.L^{-1} de materia seca (Mengel y Kirkby, 1979).

Grupo tres. Nutrientes que permanece en la forma de ión:

- **Potasio.** Su absorción se da como ión monovalente K^+ , juega un papel importante en la osmoregulación que tiene lugar en los procesos de apertura y cierre de estomas. Participa como un cofactor en más de 50 sistemas enzimáticos, como los óxidos reductasas, deshidrogenasas, transferasas, sintetasas y quinasas. Su concentración va de 1 a 6 % del peso de la materia seca (Sánchez, 2000).
- **Calcio.** Se absorbe como ión divalente Ca^{2+} , se localiza fuera de la célula en la pared celular de la lámina media y en las membranas. Participa un factor de algunas enzimas involucradas en la hidrólisis de ATP y de fosfolípidos. Actúa como mensajero secundario en la regulación metabólica. Su concentración normal se encuentra 3 y 4 % de la materia seca (Mengel y Kirkby, 1979).

- **Magnesio.** Se absorbe como ión divalente Mg^{+2} actúa como un activador de la enzima fosfoenol-piruvato carboxilasa y la glutamato sintasa; participa en el metabolismo de la planta, forma complejos con ATP y en la biosíntesis de proteínas y como un activador de la RNA polimerasa. Es el átomo central del núcleo tetrapirrólico de la molécula de clorofila, por lo tanto, es vital para el proceso de la fotosíntesis. El contenido total de Mg^{2+} en las plantas oscila entre 0.1 y 0.5 % de peso seco (Sánchez, 2000).
- **Manganeso.** Se absorbe como un catión divalente Mn^{2+} , actúa como activador de numerosas enzimas, como por ejemplo el complejo manganeso-proteína que transporta los electrones de agua al fotosistema II, forma parte de la manganeso-superoxidodismutasa (Mn-SOD) y en enzimas respiratorias del ciclo de Krebs (carboxilasa, deshidrogenasa, cinasas, oxidasas y peroxidasas) (Mengel y Kirkby, 1979), su contenidos en planta son de 40 a 500 ppm (Jones, 1999).

Grupo cuatro. Elementos minerales que se involucran en las reacciones redox:

- **Hierro.** Se absorbe como ión ferroso (Fe^{2+}) o férrico (Fe^{3+}). El 80 % del hierro se acumula en los cloroplastos; forma parte de muchas enzimas redox del tipo hemoproteínas como los hierro-azufre o las sulfero proteínas que son clave en la fotosíntesis (ferredoxina, nitritoreductasa, sulfito, reductasa), en la fijación de N_2 y en la respiración (Taiz y Zeiger, 2002) sus niveles en la planta oscilan entre 40 a 300 ppm (Jones, 1999).
- **Zinc.** Es absorbido como un ión divalente (Zn^{2+}), aunque mayormente en formación de quelato. Juega un papel estabilizador en la molécula de clorofila y participa en la síntesis de ácido indolacético. Es necesario para actividades de la alcohol deshidrogenasa, deshidrogenasa glutámica y anhidrasa carbónica que aceleran la hidratación del dióxido de carbono a

bicarbonato en la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2002). En la planta su concentración se encuentra entre 20 y 100 ppm (Jones 1999).

- **Cobre.** Se absorbe como ión cuproso Cu^+ o como ión divalente (Cu^{2+}) en suelos con escasez de oxígeno. Participa con diversas proteínas y enzimas como la plastocianina, proteína que se involucra en la respiración y cataliza la transferencia de electrones hasta oxígeno. Se le relaciona con la biosíntesis de lignina y participa en reacciones de síntesis de ácido ascórbico oxidasa, tirosina, oxidasa monoamina, fenolasa y la plastocianina (Taiz y Zeiger, 2002). En la planta los niveles se encuentran de 5 a 20 ppm (Jones, 1999).
- **Molibdeno.** Forma parte de la enzima nitrato reductasa, responsable de la reducción de nitrato a nitritos; de la nitrogenasa, fundamental en la fijación biológica del nitrógeno. Esta última enzima se involucra en la degradación de adenina y guanina, y es parte estructural de la enzima que genera el ácido abscísico. Los niveles de concentración en planta oscilan de 0.9 a 10 ppm (Jones, 1999).

2.3. Nutrición del cultivo de calabacita

En la región de Chapingo, México Espinoza (1995), probó diversos factores de fertilización en la variedad *Zucchini round*, para nitrógeno tuvo 40, 80, 120, 160 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en fósforo 0, 60, 120 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y para potasio dos niveles: 0 y 40 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. La aplicación de nitrógeno, influyó más que el fosforo y potasio en el incremento del número y peso de frutos por planta. Con respecto al rendimiento el más alto fue de 23.9 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con la fórmula de fertilización 160-00-40 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno, fosforo y potasio. Por su parte Whitaker (1974), recomienda aplicaciones de 20-30 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de estiércol o su equivalente en abono verde para la producción de calabacita en suelos de textura media y pH neutro, o en su defecto la aplicación de 900-1000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de la formula 5-10-10.

Por otra parte, se reporta que cuando se tiene el cultivo de calabacita en invernadero con una fertilización química y una producción media de 80,000-100,000 kg.ha⁻¹ se llega a aplicar 200-225 kg de nitrógeno (N₂), 100-125 kg de fósforo (P₂O₅) y 250-300 kg de potasio (K₂O) al momento de la siembra, proporcionando una relación aproximada 2.0-1.0-2.5 (Cuadro 1).

Los fertilizantes de uso más extendido son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato cálcico, nitrato potásico, nitrato amónico, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato potásico, sulfato magnésico) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico) (InfoAgro, 2009). Sin embargo, no se han reportado trabajos de producción de calabacita en invernadero evaluando la adición de compostas en materiales inorgánicos tales como el tezontle.

Se observa en el cuadro 2 que el fruto de calabaza absorbió 4.6 (kg.t⁻¹) de N, 0.6 de P, y de K 6.0 kg.t⁻¹. (Cuadro 2) (Ciampitti y García. 2007).

Cuadro 1. Requerimientos de nitrógeno en la fertirrigación de calabacita

Cultivo	Etapas fenológicas	Demanda diaria kg ha ⁻¹
Calabacita	Desarrollo vegetativo	1.0-1.6 N
	Floración/cuajado	1.6-3.5 N
	Primer cosecha	1.0-1.6 N

Fuente: Hart, 1994.

Cuadro 2. Contenido de nutriente absorbido en kg de nutrientes por tonelada de órgano cosechado .

Cultivo	Nombre científico	Órgano cosechado	Absorción total (kg.t ⁻¹)		
			N	P	K
calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	Fruto	4.6	0.6	6.0

2.4. Niveles de referencia de una buena nutrición

Con respecto al nitrógeno en el cultivo de calabacita al principio de la floración de la misma los niveles se encuentran entre 2.7-4.0%, bajando ligeramente al

principio de la formación de fruto y manteniendo la misma tendencia hasta la primera cosecha (cuadro 3). Por otra parte, el fósforo presenta un comportamiento alto al principio de la floración y disminuyendo hasta casi un 50% en la etapa de formación del fruto y disminuye ligeramente a la primera cosecha.

El potasio va disminuyendo conforme avanzan las etapas fenológicas del cultivo de calabacita, por lo que los requerimientos de K disminuyen en el tejido foliar conforme se forma el fruto hasta la etapa de cosecha. Finalmente en el Ca se observa una baja concentración foliar al principio de floración y se duplica al momento de la formación del fruto, manteniendo esta tendencia hasta la primera cosecha.

Cuadro 3. Valores de referencia del análisis foliar de tejidos de la calabaza/calabacita.

Etapas de muestreo	Porción de la planta	Nutriente	Intervalo de cantidad suficiente (Bajo a Alto)
Principios de la floración	Sexta hoja desde el ápice de crecimiento	N	2.7 - 4.0%
		P	0.4 - 0.7%
		K	2.7 - 4.0%
		Ca	1.2 - 2.5%
Principios de la formación del fruto	Sexta hoja desde el ápice de crecimiento	N	2.3 - 3.5%
		P	0.25- 0.6%
		K	2.3 - 3.5%
		Ca	2.2 - 5.5%
Primera cosecha	Sexta hoja desde el ápice de crecimiento	N	2.0 - 3.0%
		P	0.25- 0.4%
		K	2.0 - 3.0%
		Ca	2.2 - 5.5%

Fuentes: Soil Improvement Committee, 2004.

2.5. 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, que se pueden observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Aportes de la composta (residuos de hortaliza) al suelo.

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

Aporta nutrimentos al suelo de forma considerable:

Reporta nutrientes al suelo de forma considerable:															
Fosforo (% P ₂ O ₅)	Potasio (% K ₂ O)	Calcio (% CaO)	Magnesio (% MgO)	Sodio (% Na)	Manganeso (ppm)	Boro (ppm)	Hierro (% Fe)								
1-2	0.2-0.8	6-15	0.2-0.5	0.04-0.24	1.4-2.6	100-500	25-57								
<table><tr><th>N%</th><th>N orgánico %</th><th>N amoniacal %</th><th>N nítrico %</th></tr><tr><td>1.5-2.5</td><td>0.89</td><td>0.55</td><td>0.14</td></tr></table>								N%	N orgánico %	N amoniacal %	N nítrico %	1.5-2.5	0.89	0.55	0.14
N%	N orgánico %	N amoniacal %	N nítrico %												
1.5-2.5	0.89	0.55	0.14												

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⁻¹, no obtuvoniendo 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.

Widman *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.

2.5.1. Beneficios del uso de la composta

- 1) Útil para reducir, reutilizar y reciclar los residuos orgánicos.
- 2) Se devuelve material valioso a la naturaleza.
- 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 nutrimentos.
- 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 se considera un acondicionador de suelos. Su aplicación apropiada al suelo añade nutrimentos necesarios para el crecimiento saludable de pastos, árboles y otras plantas (Biernbaum y Fogiel, 2004.)

2.6. Micorrizas

2.6.1. Definición

Etimológicamente, la palabra se ha formado del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “Rhiza” (raíz). El término micorriza, se aplicó por primera vez a las asociaciones que se establecen entre plantas terrestres y determinados hongos del suelo, siendo descrito por el patólogo alemán Albert Bernard Frank en 1885 (Frank, 1885). Él estableció que dicha asociación era mutualista dados los beneficios que reporta la misma para ambos participantes y comprende la penetración radical por parte del hongo y la carencia de respuesta perjudicial hacia éste, por parte de la planta hospedera que lo impida.

Al ser un fenómeno tan extendido, el término “micorrizas” se ha convertido al nivel de usuarios en el nombre con el que se designan a los hongos implicados en su formación, aunque tal denominación no sea muy correcta. Esas mismas rutinas coloquiales han llevado a acuñar términos como “micorrizar”: poner en contacto

los hongos micorrízicos con plantas y “micorrización”, para indicar el establecimiento de la simbiosis (Frank, 1885).

2.6.1.1. Endomicorriza o micorriza vesículo-arbuscular

Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical; o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista.

Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y arbusculos. Por ello a este grupo se le conoce también como micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), las cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta.

Los hongos que la forman pertenecen a la división Glomeromycota y se dan en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas. Abundan en suelos pobres como los de las praderas y estepas, la alta montaña y las selvas tropicales.

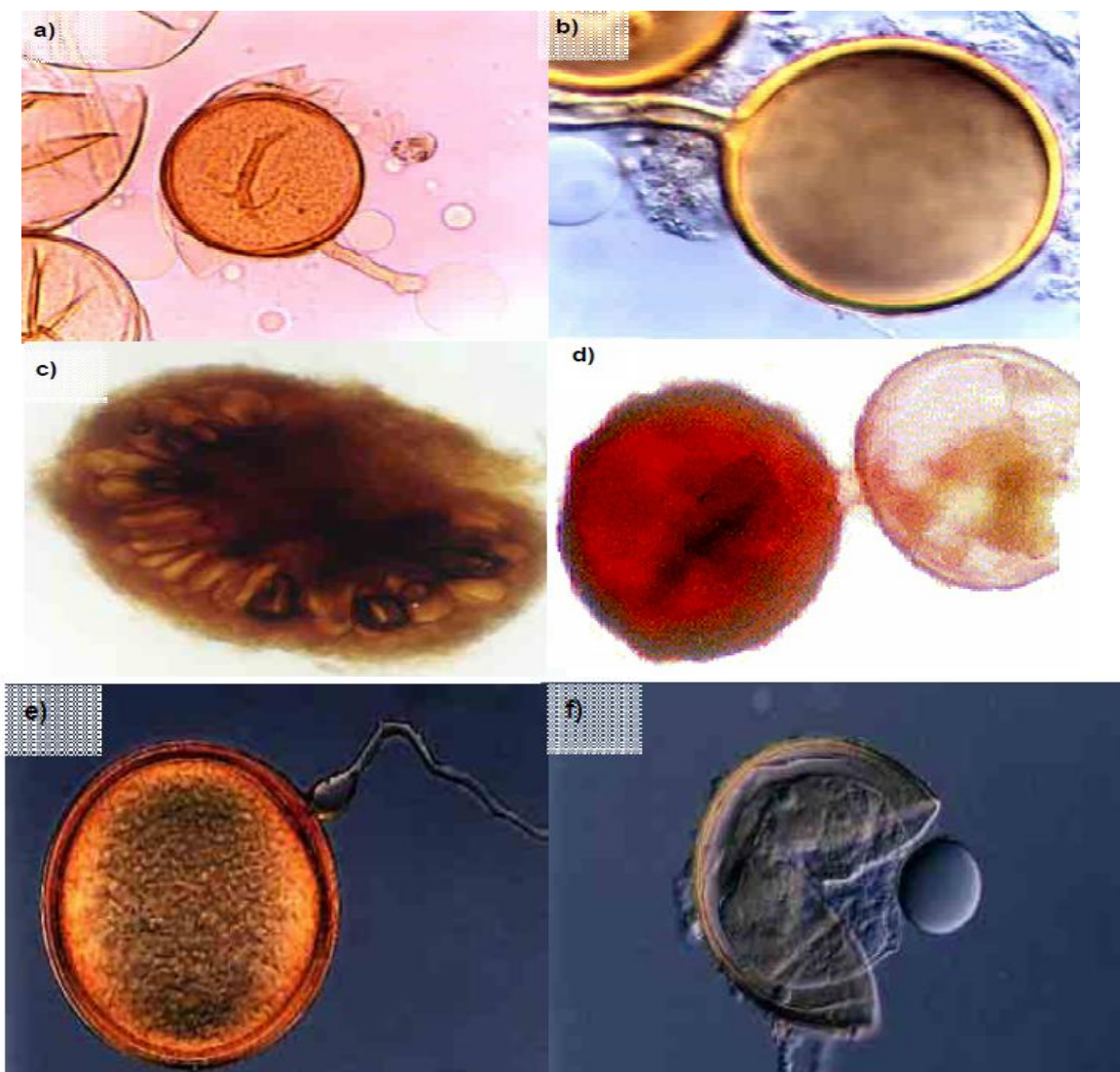


Figura 1. a y b) Esporas típicas de hongos micorrízicos arbusculares:

c) *Glomus* sp.

d) *Sclerocystis* sp.

e) *Entrophospora infrequens*, *Gigaspora* Margarita.

f) *Acaulospora delicata*.

Las micorrizas vesículo arbusculares (MVA) se encuentran en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico (Sieverding, 1991) y están presentes en la mayoría de las Angiospermas; siendo las familias Chenopodiaceae y Crucíferas, las excepciones de mayor importancia.

La asociación simbiótica micorrízica arbuscular se forma en muchas especies perennes leñosas, incluyendo muchas Gimnospermas aparte de las Pináceas (Harley y Smith, 1983). Estos hongos pertenecen al pequeño orden Glomales dentro de la clase Zygomycetes y su origen está en un rango de 353 a 452 millones de años atrás, estando presentes en familias de plantas que tienen miembros de alta importancia económica (Poaceae, Fabaceae, Solanaceae y Rosaceae).

Las plantas asociadas a los hongos endomicorrízicos se benefician por el incremento en la toma de nutrientes como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cobre, molibdeno, hierro y manganeso, pues el hongo funciona como una extensión del sistema radical de la planta, facilitando a través de su red de hifas una mayor absorción de éstos en el suelo (Read, 1999).

En esta asociación el componente fúngico de la simbiosis se nutre de los carbohidratos sencillos almacenados en las células mesodérmicas fructosa, glucosa y sacarosa y de los exudados radicales de las plantas.

2.6.1.2. Taxonomía

Entre las asociaciones micorrizicas, la más comúnmente conocida es la micorriza arbuscular (MA). Los hongos que forman esta asociación pertenecen al Phylum Glomeromycota, el cual se divide en cuatro órdenes, ocho familias y diez géneros. Los géneros en los cuales se incluyen a la mayoría de las especies descritas son *Acaulospora*, *Gigaspora*, *Glomus*, y *Scutellospora*.

Algunas evidencias fósiles sugieren que las simbiosis MA datan del periodo devónico, 460 millones de años de edad, estos fósiles indican que los hongos pertenecientes al Phylum Glomeromycota jugaron un papel importante en facilitar la colonización de la tierra por las plantas.

Los hongos arbusculares (HA) son simbioses obligados, por lo que no se han podido cultivar exitosamente en ausencia de las raíces de las plantas. La simbiosis es normalmente mutualista y se basa sobre una transferencia bi-direccional de nutrientes entre los simbioses. Sin embargo, la asociación micorrízica puede variar a lo largo de una simbiosis a un fuerte antagonismo.

Más de 150 especies se describen dentro del Phylum Glomeromycota con base al desarrollo de la espora y morfología, aunque los recientes análisis moleculares indican que el número definitivo de taxa de los hongos arbusculares (HA) Puede ser más alto (Pimentel, 2006).

2.6.1.3. Estructura y función

Los hongos arbusculares (HA) obtienen su energía a través de una simbiosis obligada con las plantas vasculares, aunque también se han reportado asociaciones de HA con plantas no vasculares.

El HA se nombra así por su formación intercelular de estructuras fúngicas ramificadas las cuales reciben el nombre de “arbusculos” (formaciones dicotómicas con apariencia de árbol pequeño). En estos es donde se da el intercambio de nutrientes entre los hongos y las plantas.

Las vesículas, las cuales contienen lípidos y son las estructuras de almacenamiento de nutrientes, se forman comúnmente en la mayoría de los miembros del género Glomeromycota, aunque esto puede depender de las condiciones medioambientales. Los fenotipos de las esporas, sirven para diferenciar entre especies, ya que la diferencia morfológica es mucho mayor a la que se observa en los fenotipos de los HA en la raíz.

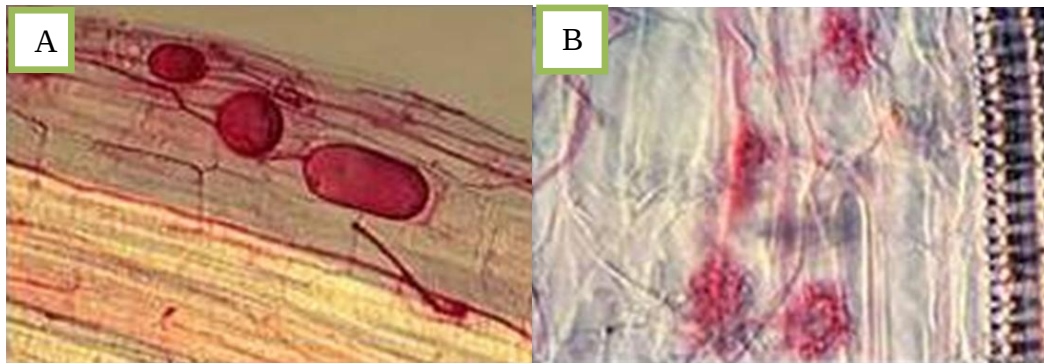


Figura 2. (A) Vesículas e hifas de una micorriza vesículo-arbuscular (VA), Colonizando la raíz de una planta.

(B) Arbusculos de una Micorriza Vesículo-Arbuscular (MVA).

La mayoría de las esporas, dependiendo de las especies, son de entre 50 y 500 μm de diámetro. Todos los miembros de los HA son asexuales y el micelio vegetativo y estructuras intraradicales son aceptadas y multinucleadas.

El hongo forma una red de hifas que crece extensivamente desde la raíz hacia el suelo, donde desarrolla una red de micelio tridimensional que se especializa en colonizar y explorar muy eficazmente el micro-hábitat del mismo para facilitar la captación de agua y nutrimentos o minerales como P, Cu, Zn, Fe.

2.6.1.4. Familia *Glomeraceae*

Las hifas intercelulares con diámetro entre 1-5 μm , son de forma lineal, curvada e irregular. Cuando penetran al interior de la célula se separan del citoplasma por un plasmalema y por una zona compartida de apariencia similar a la de la pared celular cortical. La densidad del micelio, su crecimiento y su extensión en el suelo dependen de la planta hospedera y los factores del suelo (López, 2003).

A partir del micelio externo del hongo, el cual es aceptado como ramificación dicotómica y con diámetro entre 5-20 μm , se forman esporas grandes de resistencia de paredes gruesas, las cuales pueden sobrevivir por años y cuya germinación inicia un nuevo ciclo de simbiosis. (López, 2003).

Los arbusculos son ramificaciones muy finas de las hifas del micelio que se forman después de haber penetrado la pared de la célula, enrollando todo el plasmalema de la misma; para así aumentar la superficie de contacto entre el hongo y la planta. Se localizan en células cercanas al cilindro central y su función es la de intercambiar nutrientes y metabolitos con el hospedero (López, 2003).

Las vesículas son órganos de reserva del hongo de forma ovalada o esférica; se forman inter o intra celularmente. Se encargan de almacenar lípidos en las regiones más antiguas de la colonización. Las vesículas se desarrollan posteriormente a los arbusculos. El hecho de encontrarlas asociadas a raíces viejas o muertas, sugiere que también desempeñan un papel como órganos de reposo o de propagación del hongo (López, 2003).

Las esporas se forman individualmente agregados en una matriz de hifas desorganizadas con la pared estructural continua con una pared de la hifa. También se pueden formar en las raíces, posiblemente como un sustituto de vesículas. Las esporas son estructuras globosas o sub globosas, raramente elípticas con un color amarillo claro. Usualmente germinan por la emergencia del tubo de germinación a través de la hifa sustentora, aunque en algunas especies el tubo o los tubos de germinación pueden emerger a través de la pared de la espora (Jaramillo, 2002).

2.6.1.5. Ventajas y beneficios de los hongos arbusculares

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

La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio y a la infección de la raíz por hongos fitopatógenos habitantes del suelo.

Por si todo esto fuera poco, algunas reacciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada. En las siguientes tablas se detallan las ventajas y los beneficios que producen las micorrizas en la producción agrícola o forestal.

Cuadro 5. Efecto de aplicación de micorrizas.

Favorece la captación de agua y nutrimentos minerales	P y N. también K, Ca, S, Zn, Cu.
	El sistema enzimático y la distribución de los micelios hacen que los hongos sean más eficaces que las raíces para la absorción de agua y nutrientes.
	Los filamentos hifales son capaces de explorar volúmenes de suelo mucho mayores que las raíces no micorrizadas.
Estimulación del crecimiento. Aumento considerable de la producción de biomasa aérea y radical	Mayor y más rápida disponibilidad de nutrientes en el sistema vascular de las plantas, que acelera su actividad fotosintética para mantener su equilibrio fisiológico.
	Producción de fitohormonas por parte del hongo.
	Mejora la estructura del suelo.
	Protección del sistema radical frente a patógenos fúngicos.

Cuadro 6. Ventajas y beneficios que aportan las micorrizas

VENTAJAS	BENEFICIOS
Aumento del aprovechamiento de los fertilizantes y de los nutrientes del suelo	Disminución de los costos de producción
Favorece la captación de agua y nutrientes minerales	Aumento de la producción agrícola
Estimulación del crecimiento aéreo y radical	Ciclo productivo más largo con mayores producciones y mayor seguridad para el agricultor.
Protección frente a patógenos	Disminución del costo de aplicación de fungicidas y mayor seguridad para las plantas.

2.6.2. Estudios realizados con micorrizas arbusculares

Se han realizado trabajos en los que se evaluó el efecto de micorrizas sobre el crecimiento, desarrollo y la absorción de elementos minerales en todos los frutales (González-Chávez *et al.*, 1998), en donde se obtuvieron resultados muestran que con la fertilización NPK se estimula la colonización de las raíces por las micorrizas e incrementan el rendimiento del cultivo, debido a la fertilización con nitrógeno. Furlan y Bernier-Cardou (1989), estudiaron el efecto de la adición de fósforo y nitrógeno sobre la infección de micorrizas en plantas de *Allium schoenoprasu* y encontraron que el nitrógeno incrementó el crecimiento de plantas micorrizadas, independientemente del nivel de fósforo aplicado.

Otros trabajos realizados con tomate rojo *Lycopersicum esculentum* muestran resultados de la colonización micorrízica total a las seis semanas después del trasplante, la cual varió de 3 a 59 %, también se pudo observar que aparecieron vesículas en la raíz con bajo porcentaje (menor al 1 %) a los 90 días después de la siembra, específicamente en el tratamiento *G. intraradix* (Pimentel, 2006).

Los resultados de aplicación de micorrizas en tomate de cáscara confirman la importancia del uso de microorganismos simbióticos de la planta cultivada y la aplicación de abonos orgánicos como la vermicomposta (lombricomposta) o la composta (Velasco *et al.*, 2001). En el resultado del trabajo de investigación de

Agudelo y Casieera-Posada (2004), donde se aplicó gallinaza con micorriza se observó diferencia altamente significativa para la producción total de cebolla.

2.6.3. Cuantificación del porcentaje de colonización micorrizica

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

Las raíces se enjuagan nuevamente y se adiciona una solución de HCl (10 %) durante 10-15 minutos. Pasado este tiempo el ácido se elimina, y sin enjuagar, las raíces son sumergidas en una solución colorante de azul tripano (0.05 %) en lactoglicerol (100 ml de ácido láctico comercial, 100 ml de glicerina comercial y 100 ml de agua destilada).

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

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

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

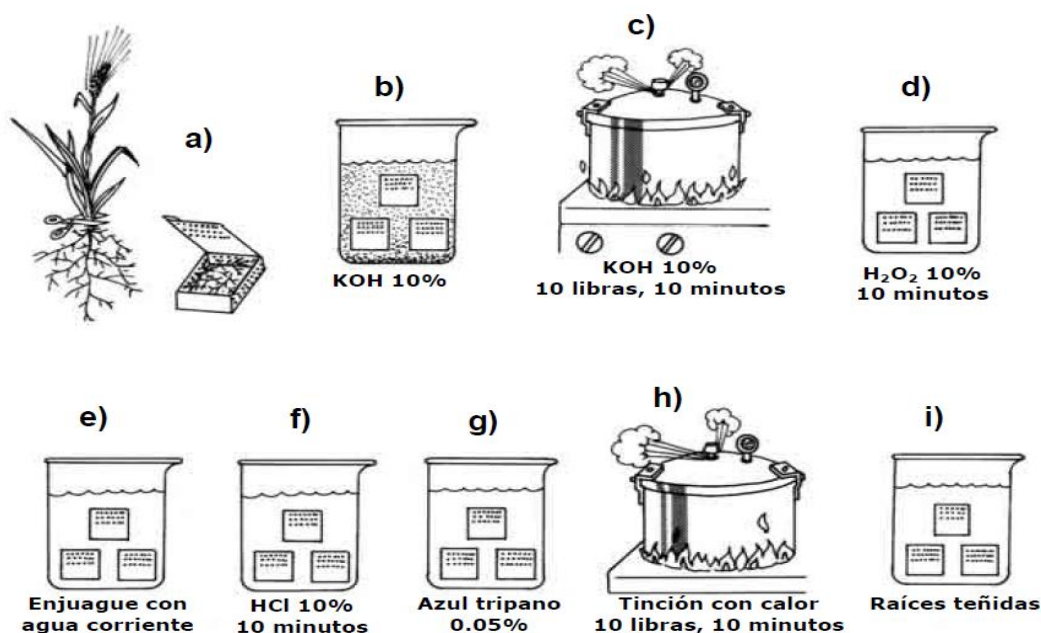


Figura 3. Pasos metodológicos de clarificación y tinción de raíces colonizadas por Hongos Micorrízicos arbusculares (HMA) según el método: Phillips y Hayman (1970) modificado por Alarcon et al, (2004).

- corte de raíces y colocación de raíces en cápsulas esterilizadas.
- cápsulas de raíces en solución de KOH (10 %).
- cápsulas expuestas a calor por ebullición o sometidas a presión (10 lb) durante 10 minutos.
- cápsulas expuestas a solución de agua oxigenada por 10 minutos.
- enjuague de las cápsulas con agua corriente.
- cápsulas expuestas a HCl (10 %) durante 10 minutos.
- cápsulas expuestas a solución colorante con azul tripano (0.05 %) en lactoglicerol.
- exposición de las cápsulas a calor por ebullición o a presión durante 10 minutos.
- cápsulas con raíces teñidas, listas para su montaje.

Conforme se hace el recorrido de las líneas horizontales y verticales, se toman lecturas de las intersecciones de las raíces sobre las líneas de la cuadrícula y de aquellas raíces en las que se detecte colonización por los hongos micorrízicos

arbusculares. Una vez cuantificadas todas las intersecciones, se contabiliza el total de raíces colonizadas y el total de raíces no colonizadas y con base en el total de segmentos cuantificados, se estima el porcentaje de longitud de raíz colonizada e incluso el porcentaje de longitud total de la raíz.

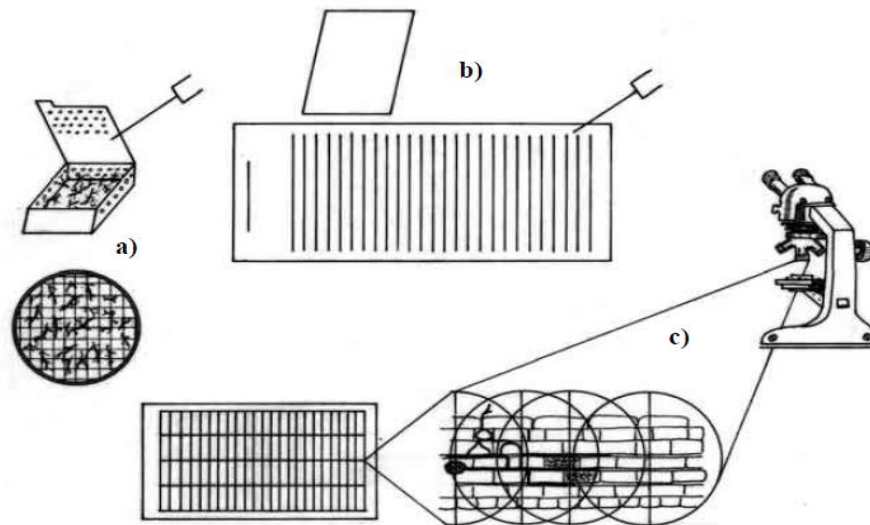


Figura 4. Evaluación de la colonización por hongos micorrízicos arbusculares en el sistema radical de las plantas, con base al montaje de raíces teñidas sobre portaobjetos.

a) colocación de raíces teñidas en cajas de Petri, según Giovanetti y Mosse, (1980), modificado por Alarcon *et al*, (2004);

b) montaje de raíces en portaobjetos con lactoglicerol;

c) 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.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 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. Los vientos dominantes provienen del sur. El invernadero tiene doble apertura cenital para una mejor ventilación. La presente investigación se llevo a cabo, durante el periodo comprendido del 28 de abril al 12 de agosto de 2010.

3.2. Materiales

3.2.1. Variedad Termo de calabacita

La variedad termo de calabacita pertenece al género *pepo* y se deriva del cruzamiento de *terminator* x *Grey zucchini* M+M, esta es una planta anual, herbácea, rastrera, trepadora y de crecimiento precoz (Villanueva, 2007).

El cruzamiento que presentó efectos de heterosis específica (S_{ij}) significativa en rendimiento por hectárea, fue: *Grey zucchini* M+M x *Terminator*, el cual derivó en la variedad Termo. Dicha variedad presenta un rendimiento de 50 t.ha⁻¹ entre otros caracteres de interés (Cuadro 7) Sánchez (2010).

Cuadro 7. Diversos caracteres de calabacita variedad Termo evaluados por Sánchez.

Variedad	RPP g.planta ⁻¹	FPP número	LFR (cm)	AFR (cm)	DFF (días)	DFM (días)	RHA t.ha ⁻¹
Termo	799.9	17.5	13.5	4.4	54	56	50

RPP: rendimiento por parcela (g.planta⁻¹), **FPP:** frutos por planta, **LFR:** largo de frutos (cm), **AFR:** ancho de frutos (cm), **DFF:** días a flor femenina (días), **DFM:** días a flor masculina, **RHA:** rendimiento por hectárea (t.ha⁻¹).

3.2.2. Siembra y trasplante

La semilla del híbrido experimental de calabacita denominado “termo”, se sembró en 28 de abril del 2010 en charolas de “unicel” (polipropileno) de 200 cavidades en turba como sustrato. Después de veintiocho días se procedió a extraer la plántula para ser trasplantada en bolsas de polietileno negro de 40 x 45 cm, primero se lleno la bolsa de 12 kg de tezontle puro y después se restó la cantidad correspondiente de composta que se agregó (0, 60, 120, 180, 360, 720, 1440 g), según el tratamiento; se aplicó el riego para humedecer la raíz de la plántula en el almácigo así como en las bolsas negras conteniendo el tezontle, una vez hecho el riego se inoculó con 20 g de un preparado de tezontle fino con 40 esporas de *Glomus sp* Zac-19 por cada 12 kg de tezontle.

3.3 Diseño de tratamientos evaluados

El experimento se llevo a cabo en un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial (7 x 2; composta x micorriza) con cuatro repeticiones, dando un total de 56 unidades experimentales.

Cada unidad experimental constaba de dos macetas con una planta de calabacita en cada maceta. Para muestrear se utilizó toda la unidad experimental. La cantidad total de macetas fue de 112.

Así mismo se estudiaron los factores composta y micorriza con siete y dos niveles respectivamente. Los niveles de composta fueron 0, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440 g·12 kg⁻¹ de tezontle (usado como vehículo) y dos niveles de micorriza (sin y con;

0 y 20 g.planta⁻¹) aplicadas sobre la composta en el cuello de la planta al momento del trasplante.

El experimento se realizó en condiciones de invernadero, con una variedad híbrida experimental de calabacita, llamada Termo, del programa de mejoramiento genético de calabazas del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma de Chapingo.

Cuadro 8. Diseño de los tratamientos del experimento de calabacita Var. Termo con siete niveles de composta y dos niveles de micorriza en hidroponía en invernadero.

Tratamiento	Composta		Inoculo (g.planta ⁻¹)
	g·maceta ⁻¹	(t·ha ⁻¹)	<i>Glomus sp</i> (Zac-19)
1	0	0.0	0
2	60	0.5	0
3	120	1.0	0
4	180	1.5	0
5	360	3.5	0
6	720	6.0	0
7	1440	12.0	0
8	0	0.0	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
9	60	0.5	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
10	120	1.0	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
11	180	1.5	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
12	360	3.5	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
13	720	6.0	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)
14	1440	12.0	20 (40 esporas de <i>Glomus Sp.</i> Zac -19)

3.4. 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). En función de la calidad del inóculo (cantidad y viabilidad de propágulos contenidos) se puede aplicar desde 1 a 15 g de inóculo por planta (Alarcón *et al.*, 2004).



Figura 5. Colocación de la composta



Figura 6. Inoculación de raíces



Figura 7. Trasplante de planta inoculada

3.5 Caracteres evaluados

- **Número de frutos de calidad 1, 2, y 3 por planta (NFPP; g).** Total de frutos cosechados por parcela de calidad 1, 2, y 3, acumulados en 22 cortes, divididos entre el número de plantas por parcela.
- **Rendimiento por parcela (RPP; g).** Se registró como el rendimiento total acumulado por parcela en 22 cortes realizados, divididos entre el número de plantas por parcela.
- **Rendimiento por hectárea (RPH; t·ha⁻¹).** Se obtuvieron los pesos de los frutos de todos los cortes de calabacita realizados y se expresó en t·ha⁻¹, al considerar una densidad de población de 62,500 plantas·ha⁻¹.
- **Ancho y largo de fruto (AF, LF; cm).** Se estimó el promedio en centímetros del ancho Y largo de los frutos, realizando 22 cortes durante el ciclo.
- **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.

3.6 Solución nutritiva

Se utilizó la solución universal de Steiner (1984), modificada por Pérez y Castro (1999), Cuadro 8.

Cuadro 9. Dosis de los fertilizantes utilizados para preparar 1100 L de solución nutritiva para suministrar al cultivo de calabacita.

FUENTE	FORMULA QUIMICA	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).

3.7. Determinación del porcentaje de colonización (endomycorrizas)

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

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

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

La determinación del porcentaje de colonización, se basa en la observación microscópica de segmentos de raíz teñidos y en ellos, contabilizar aquellos que presentan estructuras fúngicas (hifas, arbusculos y vesículas), a la vez de contar los segmentos no colonizados. El porcentaje de colonización total se determina

dividiendo el número de segmentos de raíz colonizados, por cualquier estructura fúngica, entre el número de segmentos totales observados (suma de los segmentos colonizados y los segmentos no colonizados), multiplicado por 100:

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

Por otra parte y considerando su rapidez de evaluación, se tiene otro método con base al uso de cajas de Petri con cuadrícula de 1 cm² (intersección de cuadrantes, generado por Giovanetti y Mosse, 1980) y la observación de las raíces al microscopio estereoscópico.

3.8. Análisis estadístico

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

3.8.1. Análisis de varianza

El experimento se planeó como factorial, donde los tratamientos se diseñaron como combinaciones de dos niveles del factor micorriza (con y sin) y siete niveles de composta (0, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440 g/maceta, adicionados al sustrato hidropónico). El modelo experimental fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + B_j + M_k + C_l + (M \times C)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

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

μ = media general del experimento, en cada variable.

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

M_k = Efecto del k -ésimo nivel del factor micorriza.

C_l =Efecto del l -ésimo nivel del factor composta.

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

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

3.8.2. Comparaciones múltiples de medias

Las medias de tratamientos y los niveles de los factores micorriza y composta fueron comparadas mediante la prueba de Tukey, tanto en el análisis del experimento factorial. La diferencia mínima significativa se calculó de la siguiente fórmula:

$$DMS = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{2 CMError}{r}}, \text{ donde:}$$

DMS = Es el valor crítico de la prueba

$t_{\alpha/2}$ = Valor tabular de “t” de student para los grados de libertad del error obtenido a un $\alpha/2$.

r = número de repeticiones

3.8.3. Análisis de correlación entre variables

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

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

Donde:

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

n =representa el numero de pares de datos presentes.

Σ =denota la suma de los elementos indicados

Σx =denota la suma de todos los puntajes x .

Σx^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 Σx^2 con $(\Sigma x)^2$.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de varianza

Hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y entre los niveles de los factores Micorriza (M) y Composta (C) para las variables rendimiento por hectárea (RHA; $t\text{ha}^{-1}$), peso total de frutos (PTF; g/UE), peso de frutos de primera calidad (PF1; g/UE , se hizo su equivalencia a $t\text{ha}^{-1}$) y peso de fruto de segunda calidad (PF2; g/UE se convirtió a $t\text{ha}^{-1}$); lo cual indica que existió al menos un tratamiento y un nivel estadísticamente superior de micorriza y de composta diferente para rendimiento, calidad y sus respectivos componentes (Cuadro 10).

La interacción micorriza x composta (M x C) también resultó altamente significativa para las mismas variables (RHA, PTF, PF1 y PF2) (Cuadro 10), indicando que la micorriza se comporta diferente a través de los niveles de composta.

En cuanto a calidad y sus componentes, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas para el número total de frutos (NTF), número de frutos de primera calidad (NF1) y número de frutos de segunda calidad (NF2), ambos expresados por unidad experimental ($\text{No. frutos} \cdot \text{UE}^{-1}$) (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 10. Cuadrados medios del análisis de varianza para cuatro caracteres de calabacita (Rendimiento y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles de micorriza y composta en invernadero, Chapingo 2010.

FV	GL	RHA (t ha^{-1})	PTF -----	PF1 g/UE.-----	PF2 -----
Tra	13	3887.4**	3980792.7**	1097042.8**	786299.8**
M	1	19057.2**	19514609.6**	4669665.0**	2830187.0**
C	6	2574.0**	2635818**	729889.6**	585052.8**
MxC	6	2672.6**	2736797.9**	868759.0**	646899.0**
Blo	3	157.2	161031.4ns	223992.3ns	121426.5ns
Error	39	466.9	418197.4	197161.1	163414.2
Total	55	1258.5	12188783.6	411323	308351.5
CV%	--	22.2	22.2	27.1	44.3
$\bar{X}$	--	97.2	3113.0	1638.1	911.9
R²	--	0.7	0.7	0.6	0.6

Tra: tratamientos; FV: fuente de variación, GL: Grados de libertad, M: micorriza, C: composta, M x C: Interacción micorriza x composta, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación. $\bar{X}$: Media general del experimento, R²: coeficiente de determinación. RHA: rendimiento por hectárea (t ha^{-1}), PTF; Peso total de frutos (g/UE). Peso de frutos de primera calidad PF1 (g/UE), y peso de frutos de segunda calidad PF2 (g/UE). UE: Unidad experimental. ns: no significativo. **: Altamente significativo (p $\leq$ 0.01).

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza para tres caracteres de calabacita (Calidad y sus componentes) cultivada en hidroponía con niveles de micorriza y composta en invernadero, Chapingo 2010.

FV	GL	NTF -----	NF1 No. frutos/UE-----	NF2 -----
Tra	13	222.0 **	106.2 **	18.4 **
M	1	1011.5**	534.4**	37.7 **
C	6	141.3**	64.7 **	16.8 **
M*C	6	171.2**	76.4 **	16.8 **
Blo	3	11.5ns	11.5ns	1.0ns
Error	39	12.3	14.9	3.7
Total	--	61.8	36.3	7.0
CV%	--	17.7	26.8	47.2
$\bar{X}$	--	18.3	14.3	4.0
R²	--	0.8	0.7	0.6

FV: fuente de variación; GL: Grados de libertad, Tra: tratamientos, M: micorriza C: composta. M x C: Interacción micorriza x composta, Blo: bloques, CV: coeficiente de variación. $\bar{X}$: Media general del experimento, R²: coeficiente de determinación, Número total de frutos NTF (No. frutos/UE), número de frutos de primera calidad NF1 (No.frutos/UE) y numero de frutos de calidad dos NF2 (No.frutos/UE) número de frutos de segunda calidad. ns: no significativo. **: Altamente significativo (p $\leq$ 0.01).

El promedio general de tratamientos y repeticiones obtenido en el experimento para número total de frutos (NTF), fue de 18.3 frutos; de los cuales 14.3 frutos

fueron de primera calidad (NF1) y 4.0 frutos de calabacita para segunda calidad (NF2) (Cuadro 10).

Las variables RHA, PTF y PF1 presentaron un coeficiente de variación (CV) entre 20 y 30%, pese a la estandarización del sistema experimental, posiblemente debido a que el híbrido utilizado es intervarietal y por lo tanto presenta alguna variación genética. En cambio, el CV en PF2 se duplicó obteniéndose (47 %) (Cuadros 10 y 11).

Las variables RHA y PTF presentaron un coeficiente de determinación (R^2) de 70% para ambas variables; mientras que en PF1 y PF2 fue de 60% (Cuadros 10 y 11), indicando el nivel de precisión con el que el modelo explicó al fenómeno estudiado.

4.1.1. Comparaciones de medias de tratamientos

Estadísticamente, el tratamiento 13 (combinación de 720 g de composta y 20 g de inóculo con 40 esporas de *Glomus* sp. Zac-19) fue el mejor, superando al testigo (sin micorriza y sin composta); así, en el rendimiento por hectárea (RHA) se obtuvo 185.9 t ha^{-1} vs 82.8 t ha^{-1} del testigo. En lo referente a los componentes del rendimiento se obtuvo para peso total de frutos PTF 5949.9 g/UE vs 2651.4 g/UE del testigo; para la calidad del fruto de primera calidad PF1, $3,046.4$ vs 1159.8 g/UE equivalente a 95.19 g/UE vs 36.21 t ha^{-1} y peso de frutos de segunda calidad PF2, 2031.6 g/UE contra testigo 911.9 g/UE^{-1} equivalente a 63.47 vs 28.46 t ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 12).

El mejor tratamiento (la combinación de 20 g de inóculo de micorriza *Glomus* sp Zac-19 con 40 esporas y 720 g de composta), duplicó (185.9 t ha^{-1}) significativamente el rendimiento de calabacita respecto al tratamiento testigo (solo hidroponía: 0 micorriza y 0 composta; 82.8 t ha^{-1}) (Cuadro 12).

Los rendimientos de fruto de primera (14.5 frutos·planta⁻¹, 95.19 t·ha⁻¹) y de segunda calidad (5.25 frutos·planta⁻¹, 63.47 t·ha⁻¹) en el mejor tratamiento (T13), fueron significativamente superiores que en el testigo (5.37 frutos·planta⁻¹ de primera, 36.22 t·ha⁻¹; 2.12 frutos·planta⁻¹ de segunda calidad, 28.47 t·ha⁻¹).

Cuadro 12. Comparaciones múltiples de medias de siete caracteres de calabacita hidropónica para RHA y calidad, en diversos niveles de composta y micorriza en invernadero. Chapingo, 2010.

Tra	M	C	RHA t·ha ⁻¹	PTF -----g /UE ⁻¹ -----	PF1	PF2	NTF -----No. Frutos/UE-----	NF1	NF2
1	Sin	0	82.8bc	2651.4bc	1159.8 c	911.9bc	15.0 c	10.75 bc	4.25 b
2	Sin	60	88.3bc	2826.8bc	1832.8bc	511.1c	17.2 c	14.75 bc	2.50 b
3	Sin	120	76.2 c	2438.6 c	1440.9bc	636.0 c	14.5 c	11.50 bc	3.00 b
4	Sin	180	82.8bc	2651.4bc	1045.4 c	891 bc	12.5 c	8.25 c	4.25 b
5	Sin	360	75.1 c	2403.6 c	1495.5bc	627.4 c	15.0 c	11.75 bc	3.25 b
6	Sin	720	76.9 c	2463.0 c	1099.7 c	684.4 c	13.2 c	10.00 c	3.25 b
7	Sin	1440	69.5 c	2224.2 c	1351.4bc	540.9 c	14.2 c	12.00 bc	2.25 b
8	Con	0	86.9bc	2781.4bc	1520.0bc	814.0bc	17.2 c	14.0 bc	3.25 b
9	Con	60	109.1bc	3493.2bc	1883.6bc	764.8bc	19.7bc	16.5 bc	3.25 b
10	Con	120	95.6 bc	3061.5bc	1706.3bc	967.7bc	19.2bc	15.0 bc	4.25 b
11	Con	180	110.0bc	3521.6bc	1622.1bc	845.3bc	17.4 c	14.2 bc	3.25 b
12	Con	360	137.2ab	4391.9ab	2283.4ab	1771.6ab	28.7 b	20.2 ab	6.25ab
13	Con	720	185.9a,	5949.9a	3046.4 a	2031.6 a	39.5 a	29.0 a	10.5 a
14	Con	1440	85.1bc	2723.9bc	1426.4bc	762.5bc	16.2 c	13.2 bc	3.0 b
DSM	--	--	54.5	1746.7	1121.6	1021.1	8.86	9.75	4.86

M: Micorriza (*Glomus* sp Zac-19). C: Composta. RHA: Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹). PTF: Peso total de frutos (g/UE). Peso de frutos de primera calidad PF1 (g/UE) y peso de frutos de segunda calidad PF2 (g/UE): NTF: Número total de frutos. Número de frutos de primera calidad NF1 (No.frutos·UE⁻¹) y número de frutos de segunda calidad NF2 (No.Frutos/UE). DMS: Diferencia mínima significativa. Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Muthukumar y Udaiyan (2002) quienes hallaron efectos positivos en crecimiento y producción de plantas de *Vigna* sp. Inoculadas con micorriza, como respuesta a la aplicación de materia orgánica. Linderman y Davis (2002) reportan beneficios en plantas cultivadas que habían sido inoculadas con hongos micorrízicos, cuando se les aplicó pulpa composteada de *Vitis* sp. Autores que interpretan sus resultados como consecuencia de que el hongo micorrízico incrementa la captura de fósforo mediante las hifas extra radicales, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de nutrimentos.

Por otra parte, Sýcorová *et al.* (2003), no encontraron efecto de la aplicación de estiércol de equinos o de vacunos a plantas de *Gentiana verna* inoculadas con micorriza, sobre la colonización de las raíces, la producción de biomasa ni sobre el número de brotes.

Por otro lado, es indudable que la aplicación de materia orgánica al sustrato, en cualquiera de sus formas, además de contribuir con elementos minerales, mejora sustancialmente las propiedades fisicoquímicas del mismo, mediante el aporte de radicales orgánicos, lo cual aunado al suministro de fertilizante químico y a la acción de las micorrizas, redundan en un incremento del rendimiento del cultivo.

4.1.2. Comparaciones de medias de micorriza y composta

4.1.2.1. Niveles del factor Micorriza

4.1.2.1.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes

La comparación de medias mostró que la aplicación de micorrizas fue significativamente superior a la no inoculación en el rendimiento, en la calidad y los respectivos componentes de ambos; es decir, en todas las variables, la aplicación de micorriza casi duplicó el rendimiento por hectárea RHA (115.7 t ha^{-1} con micorriza vs 78.8 t ha^{-1} sin micorriza) y aumentó notablemente el peso total de frutos PTF (3703.3 g/UE vs 2522.7 g/UE), el peso de frutos de primera calidad PF1 (1926.9 g/UE con micorriza vs 1349.3 g/UE sin micorriza, equivalente a 60.18 t ha^{-1} vs 42.15 t ha^{-1} respectivamente) y peso de frutos de segunda calidad PF2 (1136.8 g/UE) con micorriza (35.5 t ha^{-1}) vs 687.2 g/UE sin micorriza (21.4 t ha^{-1}) (Cuadro 12).

4.1.2.1.2. Calidad y sus componentes

En la comparación de los niveles con micorriza vs sin micorriza, la aplicación de micorriza fue estadísticamente superior para las variables: número total de frutos NTF (24 vs 15.5 frutos/UE) respectivamente; y por ende en los de primera NF1

(17.4 vs 11.2 frutos/UE) y segunda calidad NF2 (4.89 vs 3.25 frutos/UE) (Cuadro 12).

La aplicación de micorriza fue significativamente superior en rendimiento y calidad de calabacita en la variedad termo que la no aplicación; así como en sus respectivos caracteres componentes (Cuadro 13).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron similares a los obtenidos por Aguádelo-Becerra y Casierra-Posada, (2004) quienes encontraron que la colonización de las plantas de cebolla con hongos micorrizicos induce un incremento en la producción de frutos de primera calidad. Los mismos autores reportan resultados positivos en cuanto a la firmeza de los frutos inoculados con micorrizas.

Cuadro 13. Comparación múltiples de medias de niveles de los factores micorriza y composta para siete caracteres de calabacita hidropónica en invernadero, Chapingo, 2010.

FACTOR	Niveles	RHA t'ha ⁻¹	PTF -----g/UE-----	PF1	PF2	NTF ----- No. frutos/ UE-----	NF1	NF2
Micorriza	Con(20g)	115.7a	3703.3a	1926.9 a	1136.8a	24.0a	17.4a	4.89a
	Sin (0g)	78.8b	2522.7b	1349.3 b	687.2b	15.5b	11.2b	3.25b
	DMS	11.6	11.6	373.8	3240.0	1.89	2.08	1.04
Composta	0 (g)	82.8bc	2651.4bc	1159.8 c	911.5bc	16.0c	10.7 bc	4.2b
	60	88.3bc	2826.8bc	1832.8bc	511.1c	18.2c	14.7 bc	2.5b
	120	76.2c	2438.6 c	1440.9bc	636.0c	15.5c	11.5 bc	3.0b
	180	82.8bc	2651.4bc	1045.4c	891.0bc	14.0c	8.2c	4.2b
	360	75.1c	2403.6c	1495.5bc	627.4c	15.7c	11.7bc	3.2b
	720	76.9 c	2463.0c	1099.7c	684.4c	14.2c	10.0 c	3.2b
	1440	69.5c	2224.2c	1351.4bc	540.9c	15.2c	12.0bc	2.2b
	DMS	54.5	1746.7	1121.6	1021.1	8.8	9.7	4.8

Micorrizas (*Glomus* sp Zac-19). RHA: Rendimiento por hectárea (t'ha⁻¹). PTF: Peso total de frutos (g/UE). Peso de frutos de primera calidad PF1 (g/UE) y peso de frutos de segunda calidad PF2 (g/UE): NTF: Número total de frutos (No. frutos/UE). Número de frutos de primera calidad NF1 (No.frutos/UE) y número de frutos de segunda calidad NF2 (No. Frutos/UE). DMS: Diferencia mínima significativa. Columnas con letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

4.1.2.1.3 Porcentaje de colonización micorrizica

Los tratamientos sin micorriza (1-7) presentaron un porcentaje de colonización menor (10 %), mientras que los tratamientos con micorriza (8-14) tuvieron un porcentaje mayor (70 %) (Cuadro 14). Este resultado sugiere que el tratamiento sin micorriza probablemente presento contaminación previa a la utilización del material, al momento de almacenarse a la intemperie fuera del invernadero. Por otra parte otra posible fuente de contaminación puede ser al momento de producir las plántulas, las que se sembraron en turba, la cual pudo contener algunas esporas del hongo micorrizico. Finalmente el agua de riego utilizada en el experimento pudo ser un vector de micorrizas, ya que, durante su extracción del pozo profundo pudo obtener algunas esporas micorrizicas. Todos los tratamientos a los que se aplicó micorrizas promediaron 77.02 % de porcentaje de colonización. El mejor tratamiento (T13) para rendimiento y calidad de calabacita variedad Termo estuvo directamente asociado al mayor porcentaje de colonización encontrado (97.3 % vs 8.2 % del testigo sin tratamiento) (Cuadros 12 y 14).

Es importante mencionar que en general la inoculación micorrizica realizada fue eficiente para colonizar la raíz de calabacita y que la cepa zac-19 en interacción con la composta fue muy eficiente (dentro de ciertos límites de composta adicionada: 180 a 720 g/UE) para acrecentar la captura de nutrientes a través de las raíces, lo cual se vio reflejado en un alto porcentaje de colonización y en la alta producción y calidad de calabacita por hectárea y sus componentes. Así, con 720 g de composta que contenía 20 g de micorriza, se obtuvo 97.30 % de colonización micorrizica; mientras que con 1440 g de composta y con inoculación de micorriza la colonización fue de 83.10 %, bajando la producción de calabacita de manera importante (Cuadros 13 y 14, Figura 9).

El mejor tratamiento (T13) para rendimiento y calidad de calabacita en la variedad Termo estuvo directamente asociado al mayor porcentaje de colonización encontrado (97.3 vs 8.3 % del testigo sin tratamiento) (Cuadros 11 y 13).

Cuadro 14. Porcentaje de colonización micorrízica por tratamiento en combinación con composta en la producción de calabacita var. Termo.

Tratamiento	Micorriza	Composta	Colonización (%)
1	Sin	0	8.20
2	Sin	60	10.70
3	Sin	120	6.90
4	Sin	180	7.30
5	Sin	360	6.20
6	Sin	720	7.32
7	Sin	1440	6.70
Promedio general de los tratamientos sin micorriza (7.61 %)			
8	Con	0	62.30
9	Con	60	69.30
10	Con	120	67.70
11	Con	180	68.50
12	Con	360	90.20
13	Con	720	97.30
14	Con	1440	83.90
Promedio general de los tratamientos con micorriza (77.02%)			

La información anterior se asemeja a lo obtenido por Tapia-Goné *et al*, (2010) donde el porcentaje de colonización con *Glomus aff. etunicatum*, *G.intraradices*, *G. mosseae* fue mayor 80 % en el cultivo de lechuga.

Se ha comprobado que los conceptos de infectividad y efectividad no están relacionados y se dice que los hongos micorrízicos arbusculares que establecen abundantemente 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).

Por otra parte, se indica 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 (Varela y Estrada–Torres, 1997). 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 simbiote, sino también de las condiciones ambientales, lo que aumenta la importancia de seguir realizando estudios con propósito de seleccionar cepas eficientes (Haas y Krikum, 1985).

En el mismo sentido Matias-Crisostomo y Ferrera-Cerrato (1993) mencionan que la colonización total y el porcentaje de arbuscúlos estuvieron asociados con área foliar, volumen radical, peso seco de follaje, número de frutos, peso fresco de frutos y tasa fotosintética, por lo que los incrementos logrados en estas variables se debe probablemente a la micorriza.

Similarmente, Linderman y Call, (1977); señalan que la compatibilidad que se tenga entre ambos genotipos (hospedante-simbiote) será determinante en el éxito al utilizarla.

4.1.2.2. Niveles del factor composta

4.1.2.2.1. Rendimiento por hectárea y sus componentes

El análisis de varianza factorial mostró que no hubo diferencias estadísticas significativas entre niveles de composta para rendimiento por hectárea (RHA) y sus componentes: peso total de frutos (PTF), peso de frutos de primera calidad (PF1) y peso de frutos de segunda calidad (PF2) (Cuadro 13). Así, se encontró que el mejor nivel numérico de composta fue el de 60 g por maceta (el penúltimo nivel más bajo de composta) con un rendimiento de 88.3 t ha^{-1} mientras que 1440 g de composta por bolsa de plástico (el mayor nivel) presentó una producción de

69.5 t·ha⁻¹. Este último correspondió a la menor producción de los siete niveles evaluados de composta, aunque estos resultados representan solo tendencias.

Evaluados por sí mismos, no se encontró diferencia estadística significativa entre los niveles evaluados de composta para rendimiento y calidad de calabacita, en la variedad termo (Cuadro 13).

4.1.2.2.2. Calidad y sus componentes

Con respecto a calidad y sus componentes tampoco se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los niveles aplicados de composta; sin embargo en la dosis de 60 g de composta/UE, se obtuvieron 14.7 frutos de primera calidad por (UE); mientras que 180 g de composta por parcela tan solo produjeron 8.2 frutos de primera calidad/UE. Para el número de frutos de segunda calidad NF2 a una dosis de 1440 g por parcela se obtuvieron 2.2 frutos por UE, y 180 g de composta por bolsa de plástico casi duplicó el número de frutos (4.2 frutos/UE) (Cuadro 13).

4.1.2.3. Análisis gráfico de la interacción micorriza x composta

4.1.2.3.1. Análisis gráfico rendimiento y sus componentes

La aplicación de micorriza incrementó significativamente la producción total de frutos de calabacita con respecto a los tratamientos sin micorriza (Cuadro 10; Figuras 9 y 10), entre 180 y 720 g de composta·maceta⁻¹ con una disminución de rendimiento al pasar a 1440 g de composta·maceta⁻¹, debido a la interacción significativa de micorrizas x composta, aunque no haya habido diferencias significativas entre niveles solos de composta (Cuadro 11; Figura 9).

El rendimiento por hectárea de calabacita, con 720 g de composta y micorriza *Glomus* sp Zac-19, tuvo una producción promedio de 185.9 t·ha⁻¹. Lo anterior se debió posiblemente a que existieron las condiciones necesarias en la rizósfera en cuanto al volumen de composta, las condiciones de humedad y el pH ligeramente ácido, favoreció el crecimiento y desarrollo de los hongos micorrizicos y con esto a las plantas de calabacitas (Cuadro 12 y Figura 9).

En los tratamientos sin micorriza, la producción se mantuvo estable a través de los niveles crecientes de composta; pero cuando se aplicó micorriza, entre los niveles de 180 y 720 g de composta, tanto la producción, como la calidad y sus respectivos componentes de la calabacita, aumentaron de manera directamente proporcional al incremento de la composta aplicada hasta los 720 g/UE; sin embargo todas las mediciones de las variables de rendimiento y calidad disminuyeron drásticamente al aumentar hasta 1440 g de composta (Figura 9), posiblemente debido a que el fuerte aumento de composta influyó en la retención mayor al 30 % de humedad en la rizósfera, lo cual tuvo un efecto directo en la ocupación del espacio poroso total por agua (anaerobiosis) y en la viabilidad de las micorrizas y por ende en la disminución de la producción de fruto de calabacita.

Por lo mismo, el peso total de fruto (PTF) en la dosis de 720 g de composta y micorriza *Glomus* sp Zac-19 presentó 5949.9 g/UE (Figura 11). La producción de frutos de primera calidad (PF1) en la misma dosis fue de 3046.4 g/UE equivalente a 95.19 t·ha⁻¹; mientras que la de segunda calidad (PF2) fue 2031.7 g/UE equivalente a 63.47 t·ha⁻¹ (Figuras 11 y 12).

Al respecto, Jodice y Nappi (1987) encontraron que la vermicomposta contiene y provee a la planta de elementos minerales poco móviles en el suelo, cuya absorción puede aumentarse con la micorriza arbuscular que afecta positivamente la absorción de los nutrimentos proporcionados por la vermicomposta. En este sentido, el efecto es mayor que cuando se utilizan por separado como lo encontrado por Smith *et al.* (1986), donde las plantas de cebolla inoculadas con la micorriza arbuscular incrementaron la absorción de nitrógeno y fósforo y, en consecuencia el peso seco de la planta en condiciones de invernadero.

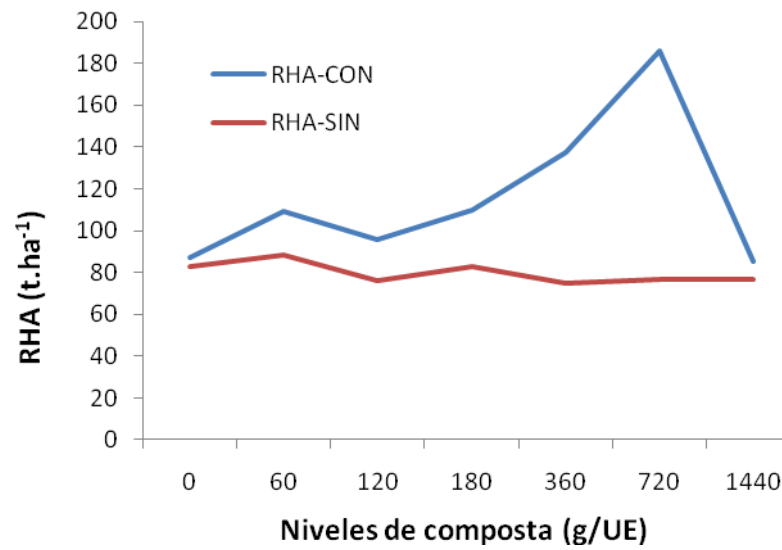


Figura 8 El nivel de composta con y sin micorriza sobre el rendimiento por hectárea de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

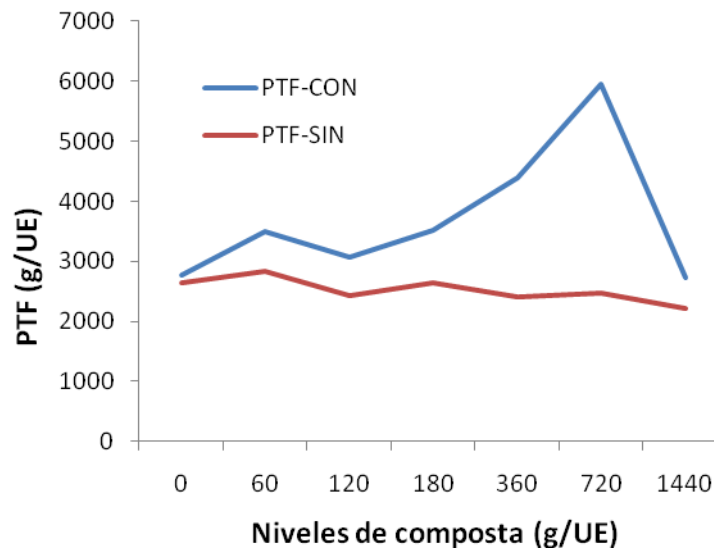


Figura 9. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el peso total de frutos (PTF) de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

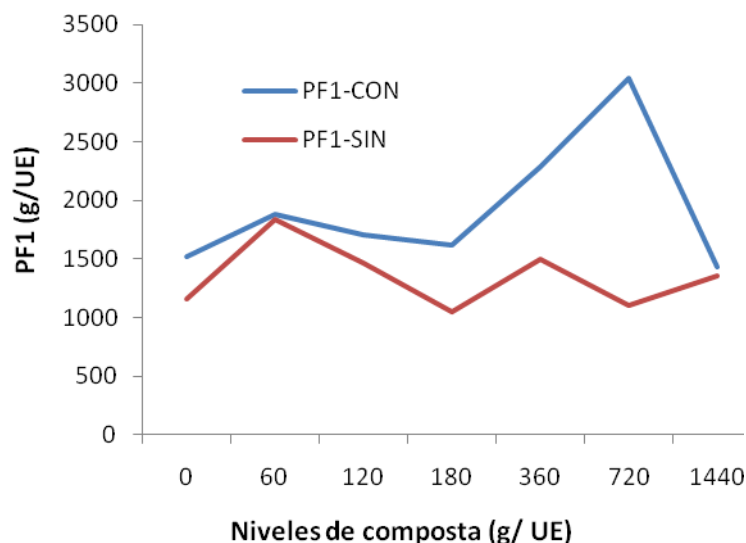


Figura 10. El nivel de composta con y sin micorriza sobre peso de frutos de primera calidad (PF1) de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

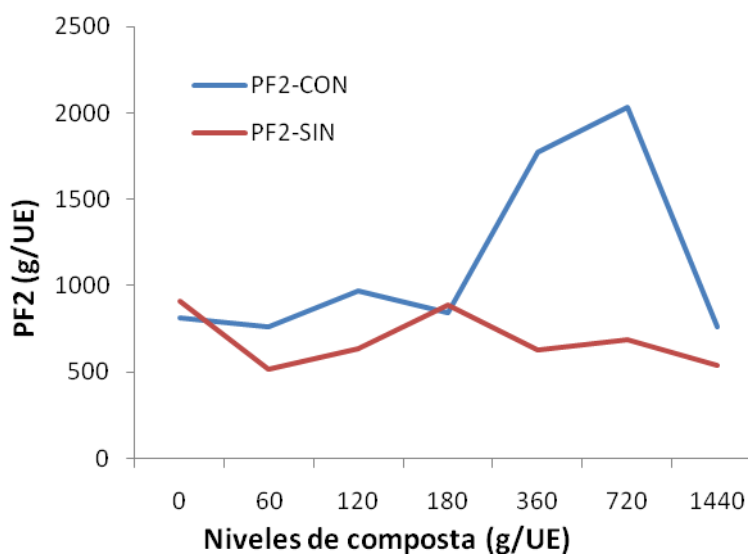


Figura 11. El nivel de composta con y sin micorriza sobre peso de frutos de segunda calidad (PF2) de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

4.1.2.4 Análisis gráfico para calidad y sus componentes

En presencia de micorriza en combinación con composta el número total de frutos se incremento gradualmente hasta 720 g de composta, y posterior a esta dosis la producción disminuyo a un poco menos de la mitad (Figuras 13,14 y 15). En

ausencia de micorriza el número total de frutos NTF tendió a permanecer constante conforme se aumentaba la dosis de composta.

En promedio, tanto el rendimiento como la calidad y sus respectivos componentes fueron siempre inferiores en ausencia de micorrizas que cuando se aplicó micorriza (Figura 13), a través de todos los niveles de composta (Figuras 13,14 y 15).

Con lo que respecta al número de frutos de primera calidad los resultados fueron muy similares a los obtenidos en el NTF, donde en presencia de micorriza y composta se obtuvo un promedio de 17.44 frutos/UE y en ausencia de micorriza el promedio fue de 11.28 frutos/UE, es importante resaltar que con 720 g de composta y micorriza el promedio de frutos de primera calidad fue de 29.0 frutos por UE lo que representa casi el doble de todos los tratamientos (Figura14).

La producción de frutos de segunda calidad fue inferior a la de primera calidad teniendo un promedio de 4.82 frutos por (UE) en presencia de composta y micorriza. Cuando solo se agregó composta se obtuvo en promedio 3.25 frutos por unidad experimental (figura 15).

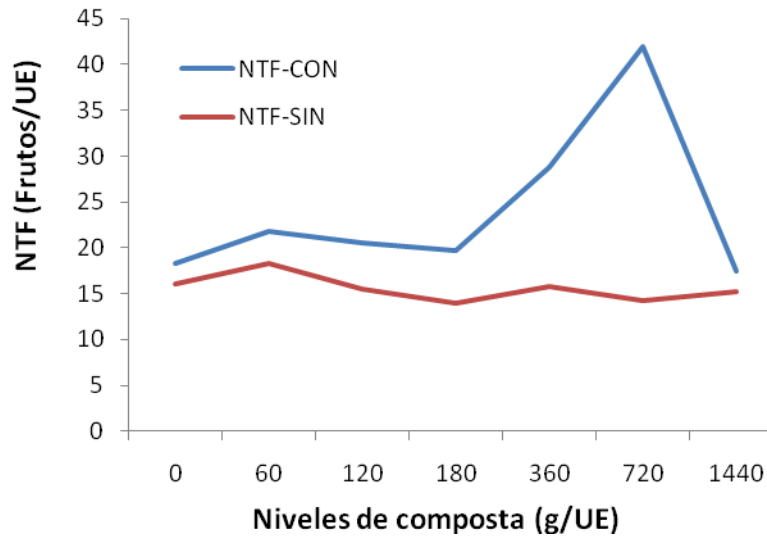


Figura 12. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número total de frutos NTF de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

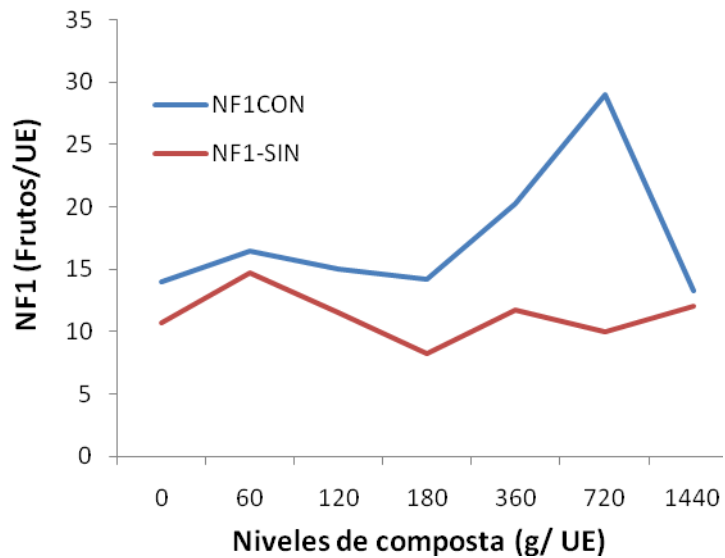


Figura 13. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número de frutos de primera calidad (NF1) de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

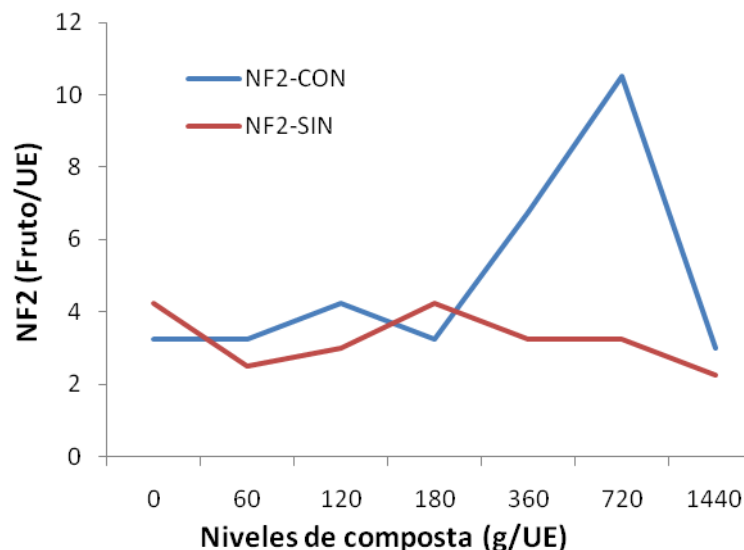


Figura 14. El nivel de composta con y sin micorriza sobre el número de frutos de segunda calidad NF2 de calabacita hidropónica variedad (Termo) en invernadero.

4. 2 Correlaciones entre variables

4.2.1 Rendimiento y sus componentes

Como era de esperarse, el rendimiento por hectárea RHA mostró correlación directa (positiva), alta y significativa con número total de frutos (NTF; $r=0.882^{**}$) y sus componentes: número de frutos de primera calidad (NF1; $r=0.711^{**}$) y de segunda calidad (NF2; $r=0.747^{**}$), así mismo con el peso de frutos de segunda calidad (PF2; $r=0.798^{**}$).

Por su parte, el peso total de frutos PTF estuvo correlacionado con número de frutos de primera calidad (NF1; $r=0.711^{**}$), número de frutos de segunda calidad (NF2; $r=0.747^{**}$), peso de frutos de segunda calidad (PF2; $r=0.798^{**}$) y número total de fruto NTF $r=0.882^{**}$. El peso de frutos de primera calidad PF1 presentó una correlación directa, alta y significativa, casi perfecta con número de frutos de primera calidad NF1 ($r=0.988^{**}$) y con peso de frutos de segunda calidad PF2 con una correlación positiva de $r=0.929$ (Cuadro 15).

Cuadro 15. Correlaciones del rendimiento y sus componentes con otros caracteres del cultivo de calabacita cultivada en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.

Variables	RHA t·ha⁻¹	PTF	PF1 g/UE	PF2
NF1	0.711**	0.711**	0.968**	0.534ns
NF2	0.747**	0.747**	0.429ns	0.929**
NF3	0.443ns	0.443ns	--	0.085ns
PF1	0.696ns	0.696ns	--	0.468ns
PF2	0.798**	0.798**	--	--
PF3	0.320 ns	0.320ns	--	--
NTF	0.882**	0.882**	--	--
DFF	-0.108ns	--	--	--
DFM	-0.113ns	--	--	--
AL	0.113ns	--	--	--
DIA	0.249 ns	--	--	--

RHA: rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹), PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad. NF1, NF2, NF3: Peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad. NTF: Número total de frutos (g/UE). PTF: Peso total de frutos (g/UE). DFF y DFM: Días a flor femenina y masculina. AL: Altura de planta (cm), DIA: Diámetro de tallo (g/UE). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$). ns: no significativo.

4.2.2 Calidad y sus componentes

La variable número total de frutos NTF mostró una correlación directa (positiva) y alta con número de frutos de primera calidad (NF1; $r=0.932^{**}$), número de frutos de segunda calidad (NF2; $r=0.745^{**}$), peso de frutos de primera calidad (PF1; $r=0.880^{**}$) y peso de frutos de segunda calidad (PF2; $r=0.753^{**}$) (cuadro 16).

En función de las correlaciones altas, positivas y significativas encontradas, los componentes del rendimiento de calabacita en la variedad termo fueron: peso total de frutos (PTF), número total de frutos (NTF), número de frutos de primera calidad (NF1) y número de frutos de segunda calidad NF2 y los de calidad NF1, NF2, PF1 y PF2 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Correlaciones de calidad de fruto con otros caracteres del cultivo de calabacita en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.

Variables	NTF	NF1	NF2
	-----No. frutos/UE-----		
NF1	0.932**	0.499ns	0.080ns
NF2	0.745**	--	0.070ns
NF3	0.211ns	--	--
PF1	0.880**	--	--
PF2	0.753**	--	--
PF3	-0.043ns	--	--
NTF	--	--	--
PTF	--	--	--
DFF	--	--	--
DFM	--	--	--
AL	--	--	--
DIA	--	--	--
RHA	--	---	--

RHA: rendimiento por hectárea ($t \cdot ha^{-1}$), PF1, PF2 y PF3: peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad ($g \cdot UE^{-1}$). NF1, NF2, NF3: Peso de frutos de primera, segunda y tercera calidad (No. frutos/UE). NTF: Número total de frutos (No. frutos/UE). PTF: Peso total de frutos (g/UE). DFF y DFM: Días a flor femenina y masculina. AL: Altura de planta, DIA: Diámetro de tallo. **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$). ns: no significativo.

4.2.3 Correlación entre variables agronómicas y sus componentes

Hubo correlación directa entre las variables días a floración femenina y días a floración masculina ($r=0.926^{**}$) en cuadro 17.

Cuadro 17. Correlaciones de días a floración y porte de planta con otros caracteres agronómicos del cultivo de calabacita, cultivada en hidroponía en invernadero. Chapingo 2010.

Variables	DFF	DFM	AL	DIA
			-----cm-----	
NF1	0.048ns	0.021ns	0.213ns	0.233ns
NF2	0.047ns	0.080ns	0.107ns	0.213ns
NF3	-0.047ns	-0.021ns	-0.090ns	-0.140ns
PF1	-0.004ns	-0.034ns	0.251ns	0.229 ns
PF2	0.025ns	0.039ns	0.099ns	0.271ns
PF3	-0.160ns	-0.144ns	-0.088ns	-0.053ns
NTF	0.026ns	0.018ns	0.173ns	0.237 ns
PTF	-0.108ns	-0.113ns	0.113ns	0.249 ns
DFF	--	0.926**	0.005ns	-0.180ns
DFM	--	--	-0.016ns	-0.152ns
AL	--	--	--	0.089ns
DIA	--	--	--	--
RHA	--	--	--	--

NF1, NF2, NF3: Número de frutos de calidad de primera, segunda y tercera calidad. PF1, PF2, PF3 (g/UE): Peso de frutos de 1ª, 2ª y 3ª calidad. NTF: Número total de frutos (No. Frutos/UE), PTF: Peso total de frutos (g/UE). DFF, DFM: Día flor femenina y Día flor masculina. AL: Altura de planta (cm). DIA: Diámetro de tallo (cm). RHA: rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹). **: Altamente significativo ($p \leq 0.01$). ns: no significativa.

5. CONCLUSIONES

El mejor tratamiento (la combinación de 20 g de inóculo de micorriza *Glomus* sp Zac-19 con 40 esporas y 720 g de composta), duplicó (185.9 t ha^{-1}) significativamente el rendimiento de calabacita respecto al tratamiento testigo (solo hidroponia: 0 micorriza y 0 composta; 82.8 t ha^{-1}).

Los rendimientos de fruto de primera ($14.5 \text{ frutos.planta}^{-1}$, 95.19 t ha^{-1}) y de segunda calidad ($5.25 \text{ frutos.planta}^{-1}$, 63.47 t ha^{-1}), en el mejor tratamiento (T13), fueron significativamente superiores que en el testigo ($5.37 \text{ frutos.planta}^{-1}$ de primera, 36.22 t ha^{-1} ; $2.12 \text{ frutos.planta}^{-1}$ de segunda calidad, 28.47 t ha^{-1}).

En función de las correlaciones altas, positivas y significativas encontradas, los componentes del rendimiento de calabacita hidropónica variedad Termo tratada con micorrizas fueron: peso total de frutos (PTF; g/UE), número total de frutos (NTF; No. frutos/UE), número de frutos de primera calidad (NF1; No. frutos/UE) y número de frutos de segunda calidad (NF2; No. frutos/UE) y los componentes de calidad: número de frutos de primera calidad (NF1; No. frutos/UE), número de frutos de segunda calidad (NF2; No. frutos/UE), peso de frutos de primera calidad (PF1; No. frutos/UE) y peso de frutos de segunda calidad (PF2; No. frutos/UE).

La aplicación de micorriza fue significativamente superior en rendimiento y calidad de calabacita en la variedad Termo que la no aplicación; así como en sus respectivos componentes.

No se encontraron diferencias significativas para rendimiento y calidad de calabacita variedad Termo, entre los niveles de composta evaluados por sí mismos.

El mejor tratamiento (T13) para rendimiento y calidad de calabacita variedad Termo estuvo directamente asociado al mayor porcentaje de colonización encontrado (97.3 % vs 8.2 % del testigo sin tratamiento) (Cuadros 12 y 14).

Las micorrizas *Glomus* sp, Zac-19 inoculadas en tezontle en combinación con composta, colonizan eficientemente a las raíces de calabacita con un promedio general de 81.86 % y combinación con composta mejoraron notablemente el rendimiento y la calidad de la calabacita.

Entre los niveles de composta probados por si mismos no existieron diferencias significativas, aunque el nivel con la mejor tendencia fue de 60 g/UE de composta con un promedio de 78.8 t $\cdot$ ha⁻¹.

6. LITERATURA CITADA

- Agudelo B. M. Y., y F. Casierra-Posada. 2010. Efecto de la micorriza y gallinaza sobre la producción y la calidad de cebolla cabezona (*Allium cepa* L. 'Yellow Granex'). Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín [en línea] 2004, vol. 57.
- Alarcón, A., Almaraz, S. J.J., Ferrera-Cerrato, R., González-Chávez, M. A., Lara, H. M. E., Manjarrez, M. M. J., Quintero, L. R., y Santamaría, R. S. 2004. Manual: tecnología de hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. Ferrera-Cerrato, R., Alarcón A., y Lara, H. M. E. (Eds.). Colegio de Postgraduados, Montecillo. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.
- Arnon, D. I. and P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. Plant physiology 14:371-375.
- ASCE Soil-Institute Ground Improvement Committee, 2004.
- Bago, B. P., E. Pfeffer., Y. Schachar-Hill. 2000. Carbon metabolism and transport in Arbuscular mycorrhizal. Plant Physiology 124: 949-58.
- Biernbaum, J., A. Fogiel. 2004. Compost Production and Use. Department of Horticulture, Michigan State University. Journal of Botany. Vol. 67 (1989); p. 3227-3232.
- Bojórquez, F. 2008. Calabacita en invernadero (en línea). México. Disponible en <http://www.hortalizas.com/noticias/?storyid=1247>.

- Bonilla, D. 2000. Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. Pp.83-97. In: Fundamentos de fisiología vegetal. Azcon-Bieto. J.; Talón. M. (eds).Ed. McGraw-Hill. Madrid, España.
- Chang E. H., R. S. Chung., Y. H. Tsai. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. Soil Science and Plant Nutrition 53, 132–140.
- Ciampitti, I. A y F. O. García. 2007. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Requerimientos nutricionales. Archivo agronómico N° 12. IPNI.
- Espinoza, L. C. 1995. Determinación de la dosis optima económica de fertilización en calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad *Zucchini round* Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Chapingo México. 98p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Producción de calabaza a nivel mundial (en línea). México. Disponible en <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=291&lang=es>
- Frank, A.B. 1885. Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Baume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutsch Botanische Gesellschaft 3: 128-145.
- Furlan, V. and M. Bernier-Cardou. 1989. Effects on N, P and K on formation of vesicular-arbuscular mycorrhizae, growth and mineral concentration of onions. En: Plant Soil. Vol. 113; p. 167-174.

Gardezi, A. K., A. Exebio-García, E. Ojeda-Trejo, E. Mejía-Sáenz, L. Tijerina-Chávez, M. Delgadillo-Piñón, U. Largué-Saavedra, C. Villanueva-Verduzco, and H. Gardizi. 2008. Growth response of *Leucaena leucocephala* associated with arbuscular endomycorrhizae to applications of organic matter in an irrigated soil with sewage water. *In* Callaos *et al.* The 12th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Orlando, FL. U.S.A. IV: 153-158.

Giovannetti, M., and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring Vesicular-Arbuscular infection in roots. *New phytologist*. 84:489-500.

González-Chávez, M. C., R. Ferrera-Cerrato, y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Colegio de Posgraduados. 16-102 p.

Haas, J. H. and J. Krikum. 1985. Efficacy of endomycorrhizal fungus isolates and inoculum quantities required for growth response. *New Phytology* 100: 613–621.

Harley, J.L. and S.E. Smith. 1983. Mycorrhizal symbiosis. Academic, Londres, p. 268-295.

Hart, T. 1994. Drip irrigation and fertirrigation management of vegetable crops. California Dept. of Food and Agriculture. Sacramento, Ca. 19 p.

InfoAgro. 2009. El cultivo del calabacín [en línea]
<http://www.infoagro.com/hortalizas/calabacin.htm>

Jodice, R y P. Nappi. 1987. Microbial aspects of compost application to relation to mycorrhizae and nitrogen fixing microorganisms. pp.155-125. *In*: M. de

- Bertoldi, M.P.Ferranti, P. L. Hermite y F. Zucconi (Eds.). Compost: production, quality and use. Els. Appl. Sci.Italy.
- Jones, J. B., JR. 1999. Plant nutrition. In: Tomato plant culture: in the field, greenhouse, and home garden. Ed. CRC Press, New York. Pp. 51-72.
- Linderman, R. G., and C. A. Call. 1977. Enhancement of rooting of woody plant cuttings by mycorrhizal fungi, J. Amer. Soc. Hort. Sci.
- Linderman, R. G. and Davis, E. A. 2002. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth response to soil amendment with composed grape pomace or its water extract. En: Phytion- Annales Botanicae. Vol. 11, No. 3; p.446- 450.
- López, R. C. A. 2003. Identificación de micorrizas nativas arbusculares (MA) en cultivos de mora (*Rubus glaucus*) en diez localidades de seis municipios de departamenro de Boyacá. Tesis profesional. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.Tunja, Colombia. 167p.
- Matías-Crisóstomo, S. y R. Ferrera-Cerrato. 1993. Efecto de microorganismos y adición de materia orgánica en la colonización micorrízica en la recuperación de tepetates. pp. 53-61. In: J. Perez-Moreno y R. Ferrera-Cerrato (eds). Avances de investigación del área de Microbiología de Suelos. PROEDAF-IRENAT. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Mengel, K. and E. A. Kirkby. 1979. Principals of plant nutrition. 2nd Edition. International Potash Institute. Worblaufen-Bern/ Switzerland. 593p.
- Muthukumar, T. and K. Udaiyan. 2002. Growth and yield of cowpea as influenced by changes in arbuscular mycorrhiza response to organic manuring. En: Journal of Agronomic Crop Science. Vol. 188, No. 2; p. 123-132.

- 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 annuum* L.) en zonas áridas. Interciencia 27(8):417-421.
- Papadopoulos, A. P. 1991. Growing green house tomatoes in soil and in soiless media. Research Program Service. Harrow, Ontario. 80 p.
- Pérez, G. M. y R. B. Castro. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de divulgación #3. Programa universitario de investigación y servicio en olericultura. Departamento de fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Mex. 58p.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 55: 157-160.
- Pimentel, M. E. 2006 Inoculación micorrízica en el cultivo de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero y fertirriego. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo México. 57 p.
- Read, D. J. 1999. Mycorrhiza. The state of the art. In: Mycorrhiza 2nd. Varma, A. and B. Hock. (Eds.). Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg. pp. 3-34.
- SAGARPA-SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350.

- Sánchez, P. A. 2000. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. In: Manual de cultivo sin suelo. Urrestarazo, G. M. (Ed.) Ed Mundi-Prensa. España. pp. 105-136.
- Sánchez, H. C. 2010. Efectos genéticos, heterosis y rendimiento en calabacita (*Cucúrbita pepo* L.) tipo Grey Zucchini. Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de horticultura. Tesis doctoral. 98 p.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, Federal Republic of Germany. 371 p.
- Smith, S. E., B. J. St John, F. A. Smith and J. L. Bromley. 1986. Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glass house-grown *Allium cepa* L. New phytol. 103:359-373.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. In: Proceedings of sixth international congress on soilless culture. International society for soilless culture. Lunteren, the Netherlands. pp 633-649.
- Smith, S. E. and D. J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2a edition. Academic Press. London.
- Sýkorová, S.; Rydlová, J. and Vosátka, M. 2003. Establishment of mycorrhizal symbiosis in *Gentiana verna*. in: Folia Geobotanica. Vol. 38; p. 177–189.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant physiology. Third Edition. Sinauer associates Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. 690 p.
- Tapia-Goné, J. J., R. Ferrera-Cerrato, L. Varela-Fregoso, J. C. Rodríguez-Ortiz, J. C. Soria-Colunga, M. A. Tiscareño-Iracheta, C. Loredó-Osti, J. Alcala-Jáuregui, Y C. VILLAR-MORALES. 2010. Infectividad y efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos salinos en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Rev. Mex. Mic vol. 31. 69-74.

- Varela, L. & A. Estrada-Torres. 1997. Diversity and Potential Use of Mycorrhizae for Sustainable Development in México. pp. 174-182. In: Palm, M.E. e I.H. Chapela (eds.), *Mycology in Sustainable Development: Expanding Concepts*, Vanishing Borders, Parkway Publishers Inc, North Carolina.
- Velasco, V. J., R. Ferrera-Cerrato., J. J. Almaraz. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Revista Terra*. 19 (241-248): 241.
- Villanueva, V. C. 2007. Calabazas cultivadas. Identificación de especies, caracterización y descripción varietal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 123 p.
- Whitaker, T. W. 1974. Cucúrbita. In: *Handbook of Genetics*. R C King (ed.). Plenum Press. New York, USA. pp: 135-144.
- Widman, A. F., F. Herrera-Rodríguez., D. D. Cabañas. 2005. El uso de la composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. *Ingeniería Revista Académica*, septiembre- diciembre, vol. 9, número 003. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida. México. pp. 31-38.