



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**INOCULACIÓN DE MICORRIZAS EN JITOMATE, EN DOS SISTEMAS  
HIDROPÓNICOS DE PRODUCCIÓN, CON COMPOSTA**

**TESIS**

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**PRESENTA:  
DELMA ARACELI GASTELUM OSORIO**

**CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO 2017.**

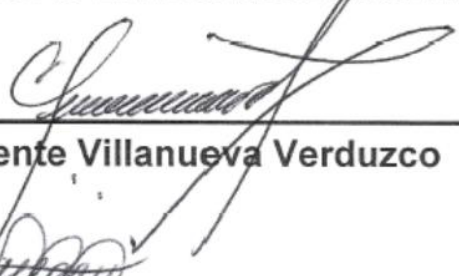


# **INOCULACIÓN DE MICORRIZAS EN JITOMATE, EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS DE PRODUCCIÓN, CON COMPOSTA**

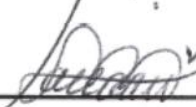
Tesis realizada por **Delma Araceli Gastelum Osorio** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## **DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

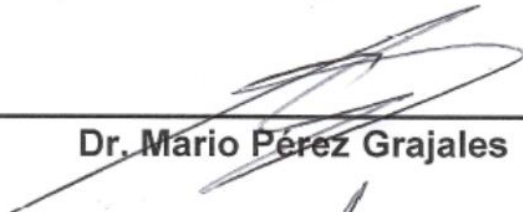
**DIRECTOR**

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

**ASESOR**

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

**ASESOR**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Mario Pérez Grajales**

**ASESORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Evert Villanueva Sánchez**

**LECTOR  
EXTERNO**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Martha Blanca Guadalupe Irizar Garza**

**CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO., JUNIO 2017.**

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                              |             |
|--------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>                              | <b>iii</b>  |
| <b>LISTA DE CUADROS .....</b>                                | <b>v</b>    |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                | <b>vi</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                 | <b>vii</b>  |
| <b>DEDICATORIAS .....</b>                                    | <b>viii</b> |
| <b>DATOS BIOGRÁFICOS .....</b>                               | <b>ix</b>   |
| <b>RESUMEN GENERAL .....</b>                                 | <b>x</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                        | <b>xi</b>   |
| <b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....</b>                         | <b>1</b>    |
| 1.1 OBJETIVOS.....                                           | 2           |
| 1.2 HIPÓTESIS.....                                           | 2           |
| <b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                       | <b>4</b>    |
| 2.1. CULTIVO DE JITOMATE.....                                | 4           |
| 2.1.1. Importancia .....                                     | 4           |
| 2.1.2. Producción mundial y nacional de jitomate .....       | 4           |
| 2.1.3. Agronomía del cultivo.....                            | 5           |
| 2.1.4. Principales prácticas culturales .....                | 5           |
| 2.1.5. Requerimientos climáticos del cultivo.....            | 7           |
| 2.1.6. Requerimientos edáficos del cultivo .....             | 9           |
| 2.1.7. Requerimientos nutrimentales del cultivo .....        | 10          |
| 2.1.8. Plagas y enfermedades.....                            | 16          |
| 2.1.9. Parámetros importantes en la calidad del fruto .....  | 23          |
| 2.1.10. Licopeno.....                                        | 25          |
| 2.1.11. Vitamina C.....                                      | 26          |
| 2.2. MICORRIZAS .....                                        | 26          |
| 2.2.1. Definición .....                                      | 26          |
| 2.2.2. Tipos de hongos micorrízicos.....                     | 27          |
| 2.2.3. Importancia de las micorrizas en la agricultura ..... | 30          |

|           |                                                                                                                                               |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4.    | Beneficios de la interacción planta - hongo .....                                                                                             | 32        |
| 2.2.5.    | Factores de importancia en la micorrización .....                                                                                             | 33        |
| 2.3.      | COMPOSTA .....                                                                                                                                | 36        |
| 2.3.1.    | Beneficios de la aplicación de composta.....                                                                                                  | 37        |
| 2.3.2.    | Relación micorriza - composta .....                                                                                                           | 38        |
| 2.4.      | LITERATURA CITADA .....                                                                                                                       | 39        |
| <b>3.</b> | <b>RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE JITOMATE HIDROPÓNICO<br/>INOCULADO CON MICORRIZAS, PRODUCIDO EN INVERNADERO .....</b>                         | <b>50</b> |
| 3.1       | INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                             | 52        |
| 3.2.      | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                                                    | 55        |
| 3.3.      | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                                                  | 63        |
| 3.4.      | CONCLUSIONES .....                                                                                                                            | 69        |
| 3.5.      | LITERATURA CITADA .....                                                                                                                       | 70        |
| <b>4.</b> | <b>CALIDAD DE JITOMATE CULTIVADO EN DOS SISTEMAS DE<br/>PRODUCCIÓN BAJO INVERNADERO Y SU RELACIÓN CON LA<br/>INOCULACIÓN MICORRÍZICA.....</b> | <b>73</b> |
| 4.1.      | INTRODUCCIÓN.....                                                                                                                             | 75        |
| 4.2.      | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                                                    | 78        |
| 4.3.      | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                                                  | 84        |
| 4.4.      | CONCLUSIONES .....                                                                                                                            | 88        |
| 4.5.      | LITERATURA CITADA .....                                                                                                                       | 89        |
| <b>5.</b> | <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>                                                                                                            | <b>93</b> |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Diseño de tratamientos.....                                                                                                                                                                            | 57 |
| <b>Cuadro 2.</b> Fuentes y cantidad de fertilizante (g) utilizado para preparar 1000 L de solución nutritiva de Steiner .....                                                                                           | 59 |
| <b>Cuadro 3.</b> Cuadrados medios de siete caracteres de rendimiento de jitomate hidropónico variedad El Cid y variedad Cedral, inoculado con hongos micorrízicos.....                                                  | 64 |
| <b>Cuadro 4.</b> Comparación de medias de los niveles de cada uno de los factores para los caracteres de rendimiento de jitomate hidropónico variedad El Cid y variedad Cedral, inoculado con hongos micorrízicos ..... | 67 |
| <b>Cuadro 5.</b> Comparación de medias de tratamientos para caracteres de rendimiento en jitomate hidropónico variedad El Cid, inoculado con hongos micorrízicos.....                                                   | 68 |
| <b>Cuadro 6.</b> Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos.....                                   | 85 |
| <b>Cuadro 7.</b> Comparación de medias de los efectos de los niveles de los factores de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos .....        | 87 |
| <b>Cuadro 8.</b> Comparación de medias de los tratamientos de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos.....                                   | 88 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Clasificación general de hongos micorrízicos. ....                                                                                                                                                                      | 27 |
| <b>Figura 2.</b> Colonización de endomicorizas. ....                                                                                                                                                                                     | 29 |
| <b>Figura 3.</b> Colonización de ectomicorizas. ....                                                                                                                                                                                     | 29 |
| <b>Figura 4.</b> Rendimiento de frutos de jitomate variedad El Cid y variedad Cedral en dos sistemas de producción (SP1: sistema de producción en macetas; SP2: sistema de producción en camas) inoculados con hongos micorrízicos ..... | 66 |

## AGRADECIMIENTOS

**Principalmente A Dios**, por estar en mi corazón en todo momento. Por darme amor, sabiduría, paciencia y la fuerza para seguir adelante; por iluminar mi camino y ayudarme a librar los obstáculos que se presentan día a día. ***“Por el camino de la sabiduría me has encaminado, y por veredas derechas me has hecho andar. Cuando anduviere, no se estrecharan mis pasos y si corriere no tropezare”*** (Proverbios 4:11-12).

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**, por el apoyo económico otorgado para mis estudios de posgrado, sin el cual, nada de esto hubiera sido posible.

**A la Universidad Autónoma Chapingo**, por haberme permitido ser parte de ella. Por albergarme durante estos cuatro años y ofrecerme la oportunidad de continuar mis estudios.

**Al Instituto de Horticultura, UACH**, por haberme recibido en sus aulas y a sus académicos que me compartieron sus conocimientos. Gracias por prepararme con ética y responsabilidad.

**A mi Director de tesis, Dr. Clemente Villanueva Verduzco**, principalmente por su confianza, así como también, por su paciencia y apoyo académico brindado durante mi estancia en esta institución.

**Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos**, por su apoyo, su valiosa cooperación y disponibilidad brindada durante mi paso por la UACH.

**Al Dr. Mario Pérez Grajales**, por su confianza, apoyo, y sus acertadas observaciones durante el desarrollo de esta investigación.

**A la Dra. Evert Villanueva Sánchez**, agradezco sus conocimientos y su orientación en este proyecto.

**A la Dra. Martha Blanca Guadalupe Irizar Garza (INIFAP-CEVAMEX)**, por su valiosa colaboración y apoyo brindado para concluir exitosamente este proyecto. Por permitirme realizar parte de mi trabajo de investigación en las instalaciones del Laboratorio de Biofertilizantes. Gracias al personal de campo por su apoyo.

**A mis amigos y compañeros de la UACH: Jessica, Marce, Dani, Juan, Edgar; Celia, Juliana, Fidel...** y demás que no menciono, pero que fueron y seguirán siendo mis cómplices en muchas aventuras más. Por compartir grandes momentos en nuestra formación profesional son y serán parte de mi vida y espero que así como hasta hoy, mantengamos fuertes nuestros lazos de amistad aun en la distancia. Gracias por su bonita amistad.

## DEDICATORIAS

**Principalmente a mis padres: Lupita y Martin**, quienes han sido la motivación constante para llegar a este momento, por depositar en mí toda su confianza y con sus palabras de aliento, aun en la distancia, ayudarme a nunca bajar los brazos. A ustedes que siempre están conmigo y son mi apoyo en todo momento. Con mucho amor y gratitud...esto es especialmente dedicado a ustedes.

**A mis hermanos: Francisco y Sixtlaly**, que aunque la distancia entre nosotros ha sido mucha, siempre he contado con su apoyo y confianza, los quiero mucho.

**A mis sobrinos: Freddy, Zoe, Diego, y Miranda**, quienes llenan de alegría cada día de mi vida tan solo con escucharlos y ver sus caritas sonrientes.

**A mis abuelos: María<sup>†</sup>**, que desde el cielo ha sido testigo de mi lucha por llegar hasta este momento; **A Rosario<sup>†</sup> y Tatay<sup>†</sup>**, de quienes recibí tantas bendiciones, con quienes compartí la mayor parte de este proyecto. A ustedes que ya no están conmigo físicamente pero que desde el cielo guiaran mi camino...Gracias por su amor y bendiciones. En mi corazón por siempre.

**A mis tíos y tías, especialmente Manuelita y Conrado**, quienes han sido un pilar importante en mi vida, por todo su cariño y apoyo con lo cual he logrado concluir otro capítulo de mi vida. Por sus enseñanzas y por guiarme por el mejor camino. Con cariño y respeto.

**A mi familia en general**, que han sido fuente de apoyo en todo momento de mi vida, con quienes he compartido buenos y malos momentos. Gracias por su cariño y apoyo.



## **DATOS BIOGRÁFICOS**



|                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| <b>Nombre</b>              | <b>Delma Araceli Gastelum osorio</b> |
| <b>Fecha de nacimiento</b> | <b>23 / Septiembre / 1981</b>        |
| <b>Lugar de nacimiento</b> | <b>Sinaloa, México</b>               |
| <b>CURP</b>                | <b>GAOD810923MSLSSL07</b>            |

## **Desarrollo Académico**

|                           |                                                                   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Licenciatura</b>       | <b>Licenciatura en ingeniería Agronómica</b>                      |
| <b>Institución</b>        | <b>Facultad de Agronomía, Universidad<br/>Autónoma de Sinaloa</b> |
| <b>Cédula Profesional</b> | <b>5571113</b>                                                    |
| <b>Maestría</b>           | <b>M. en C. en Edafología</b>                                     |
| <b>Institución</b>        | <b>Colegio de Postgraduados, Montecillo,<br/>Texcoco</b>          |
| <b>Cédula Profesional</b> | <b>10164540</b>                                                   |

## RESUMEN GENERAL

### INOCULACIÓN DE MICORRIZAS EN JITOMATE, EN DOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS DE PRODUCCIÓN, CON COMPOSTA

Fueron evaluados el efecto del sistema de producción y de inoculantes micorrízicos en rendimiento y calidad de fruto de jitomate cv “El Cid” (saladette) y “Cedral” (bola) en invernadero. Un experimento se realizó con jitomate saladette y otro con jitomate bola, en un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 2x3 (Sistemas de producción: SP1 y SP2 x Inoculantes: Hortic Plus, BioKomplet, testigo sin inocular) con cuatro repeticiones. El SP1 fue cultivo en bolsas de polietileno negro 40x40 cm con tezontle, agregando 450 g de composta al centro para colocar el cepellón de la plántula al trasplantar. El SP2 fue en camas con profundidad de 30 cm (de abajo hacia arriba: 20 cm de “tezontle” (piedra-espuma volcánica), 5 cm de composta y 5 cm de tezontle) acolchadas con plástico blanco e inoculadas al trasplante. La solución nutritiva fue la de Steiner al 75 %. Se evaluó rendimiento total acumulado (kg) de 10 cortes (RTA), número total de frutos (NTF), y rendimiento de fruto por categoría. La calidad 8, 7, 6, y 5 (RAC8, RAC7, RAC6, RAC5) para jitomate saladette y categoría extra grande, grande, mediano y chico (EG, GDE, MED y CH) para jitomate bola. También se evaluó el porcentaje de colonización en raíz (COL) y, en fruto, sólidos solubles totales (SST), firmeza (FIR), pH, acidez titulable (AT), contenido de licopeno (LIC) y vitamina C (VC). En la variedad El Cid hubo diferencias entre sistemas de producción para las variables estudiadas, y el efecto de ambos inoculantes fue estadísticamente igual ( $P \leq 0.05$ ), excepto para RTA y RAC5. En la variedad Cedral (bola) hubo diferencias entre sistemas de producción excepto para frutos tamaño EG y COL, y la inoculación fue positiva para RTA y NTF. En la variedad El Cid, los valores para FIR y SST fueron estadísticamente superiores en el SP1 vs el SP2. En la variedad Cedral (bola) se observaron diferencias estadísticas en FIR, pH, AT, y LIC por efecto de la inoculación, pero sin afectar la calidad de fruto, manteniéndose dentro de los valores óptimos registrados en estudios anteriores.

**Palabras Clave:** *Solanum lycopersicum* L., biofertilizantes, hidroponía, rendimiento, calidad.

## ABSTRACT

### INOCULATION OF MYCORRIZES IN TOMATO, IN TWO HYDROPONIC PRODUCTION SYSTEMS, WITH COMPOST

The effect of the production system and mycorrhizal inoculants on the yield and quality of tomato fruit El Cid and Cedral at greenhouse conditions was evaluated. An experiment was performed with saladette tomato and another with beef tomato, in a completely randomized experimental design in a 2x3 factorial arrangement (production systems: PS1 and PS2 x inoculants: Hortic Plus, BioKomplet, uninoculated control) with four replicates. The PS1 was cultured in 40x40 cm black polyethylene bags with tezontle, adding 450 g of compost at the center to place the seedling rootlet when transplanting. The PS2 was in beds with a depth of 30 cm (Bottom up: 20 cm of "tezontle" (volcanic foam stone), 5 cm of compost and 5 cm of tezontle) padded with white plastic and inoculated at transplant. The nutrient solution was that of Steiner at 75 %. The accumulated yield (kg) during 10 cuts (AY), number of accumulated fruits (NAF), and yield by quality. The categories 8, 7, 6 and 5 (YQC8, YQC7, YQC6, YQC5) were evaluated for saladette tomato, and category extra large, large, medium and small (EL, L, MED and S) for beef tomato. The percentage of root colonization (COL) was also evaluated, and in fruit, total soluble solids (TSS), firmness (FIR), pH, titratable acidity (TA), lycopene content (LC) and vitamin C (VC). In the variety El Cid there were differences between production systems for the variables studied, and the effect of the two inoculants was statistically equal ( $P \leq 0.05$ ), except for AY and YQC5. In the variety Cedral there were differences between production systems except for the fruit size and COL, and the inoculation was positive for AY and NAF. In the variety El Cid FIR and TSS were statistically higher in the PS1 vs PS2. In the variety Cedral, statistical differences in FIR, pH, TA, and LC due to the inoculation effect were observed, but without affecting fruit quality, remaining within the optimal values recorded in previous studies.

**Keyword:** *Solanum lycopersicum* L., biofertilizers, hydroponic, yield, quality

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El jitomate o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas cultivadas en México y el mundo (Parra *et al.*, 2016), ocupa la mayor superficie sembrada a nivel mundial (Hernández *et al.*, 2014), y un lugar importante en el consumo per cápita dado que es parte de la dieta de la población en general (Caicedo y Galvis, 2012). Una de las razones por las cuales el consumo de tomate presenta gran demanda, es por su uso culinario generalizado, propiedades nutricionales y beneficios para la salud. El tomate es fuente de licopeno y compuestos que le confieren una importante actividad antioxidante (Hernández *et al.*, 2008), así como rico en fibra y minerales (Casanova *et al.*, 2007).

Debido a que el desarrollo óptimo de los cultivos depende en gran parte de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, a nivel mundial los productos químicos han sido impulsores del desarrollo productivo en varias regiones del mundo gracias a sus resultados en la generación de altos rendimientos en los cultivos. Ante esta situación, el uso irracional de productos químicos, además de representar un alto costo de producción y contaminación del medio ambiente por residuos inorgánicos, impacta de manera significativa la salud del consumidor, lo que ha despertado el interés de la sociedad por consumir productos libres de plaguicidas y fertilizantes sintéticos pero con un alto valor nutricional (Márquez *et al.*, 2010), aunado a la preservación del medio ambiente (Yescas *et al.*, 2013).

Estos problemas han impulsado la búsqueda de alternativas de fertilización sustentables que, además de suplir los requerimientos nutrimentales de los cultivos, no afecten el rendimiento y calidad de los frutos (Nieto *et al.*, 2002). Ante dicha problemática y el interés de reducir el impacto de los productos químicos sobre el ambiente y calidad de los productos vegetales, Garay *et al.* (2013) proponen que el uso de abonos orgánicos es una excelente opción que ha dado resultados positivos en la agricultura. En el mismo contexto, Díaz *et al.* (2013) y Cué y Torres (2014) señalan el uso de productos comúnmente llamados

biofertilizantes como tecnologías sustentables entre las cuales se encuentran los hongos micorrízicos; sin embargo, el conocimiento del impacto de los hongos micorrízicos en hortalizas cultivadas en invernadero no ha sido suficientemente estudiado, menos aún en combinación con abonos orgánicos como la composta, es por eso, que se planteó evaluar su efecto en jitomate cultivado bajo condiciones de invernadero, práctica que según Nelson y Nelson (2015) debe ser incorporada a los sistemas de producción hortícolas.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar el efecto de la inoculación micorrízica complementada con composta en el rendimiento de plantas de jitomate cultivadas en invernadero; así como también su efecto en la calidad del fruto.

### **Objetivos Específicos**

Determinar la capacidad de inoculación de los hongos micorrízicos en dos sistemas de producción.

Determinar el efecto de dos sistemas de producción en el rendimiento y calidad de frutos de jitomate.

## **1.2 HIPÓTESIS**

### **Hipótesis General**

La inoculación de hongos micorrízicos en plantas de jitomate induce un mejor desarrollo de plantas y favorece positivamente el rendimiento del cultivo y la calidad de frutos del cultivo.

### **Hipótesis Específicas**

La inoculación micorrízica se ve favorecida en el sistema de producción en camas.

El sistema de producción en camas favorece el desarrollo de las plantas de jitomate, su rendimiento y calidad de frutos.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. CULTIVO DE JITOMATE**

#### **2.1.1. Importancia**

El fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo producto hortofrutícola en importancia mundial por el volumen consumido, y el primero por su aporte de vitaminas y minerales a la dieta (Bombelli & Wright, 2006). Esta hortaliza se cultiva en diversos países pero China, Estados Unidos, India y Turquía, conjuntaron una producción de poco más del 50 %. México se ubica como el país número 10 en cuanto a producción (FAO, 2014). Su participación en la balanza agropecuaria es fundamental en la generación de divisas ocupando el 16 % del valor total de las exportaciones. El jitomate es sin duda, la principal hortaliza gracias a la cual México ha desarrollado la industria hortícola, tanto para abastecer el mercado interno como para abastecer a Estados Unidos, ya que es el principal exportador de jitomate fresco en el mundo (Financiera Rural, 2009).

Las preferencias del consumidor nacional se inclinan hacia el jitomate tipo saladette; ya que el jitomate tipo bola es requerido generalmente en cadenas comerciales o restaurantes donde se ofrece en platillos de especialidad.

#### **2.1.2. Producción mundial y nacional de jitomate**

La producción hortícola constituye el 30 % de la producción mundial (Luna *et al.*, 2015). Ocupa la mayor superficie sembrada a nivel mundial (Hernández *et al.*, 2014) y en México es la hortaliza más cultivada (Velasco *et al.*, 2011) y principal producto hortícola de exportación al representar el 37 % del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas, y el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias (Contreras *et al.*, 2013).

Los principales estados productores de jitomate son Sinaloa, que en 2015 alcanzó una producción de 849,500 toneladas equivalentes al 28.6 % de la producción nacional, seguido de San Luis Potosí, Michoacán y Jalisco (SIAP, 2015). En cuanto a producción, en el año 2011 el jitomate ocupó el onceavo lugar

en el mundo con aproximadamente 159,347 000 toneladas con un valor de 82,221 millones de dólares (FAO, 2014).

### **2.1.3. Agronomía del cultivo**

El jitomate es una planta arbustiva e indeterminada, puede tener un ciclo de vida superior a un año, aunque se cultiva generalmente en ciclos de 7 a 10 meses. En invernadero se utilizan las variedades de crecimiento indeterminado, ya que permiten obtener producción durante periodos largos si se maneja de manera adecuada.

En el cultivo de jitomate, generalmente se producen de 6 a 11 hojas antes de la primera inflorescencia. Si se han producido pocas hojas, antes del inicio de la floración, el abastecimiento de fotoasimilados puede ser insuficiente para soportar las flores y el desarrollo de los primeros frutos. En tomate de crecimiento indeterminado, el crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo es concomitante durante la mayor parte de vida de la planta; un equilibrio entre ambos tiene una influencia positiva en la precocidad de la cosecha y el rendimiento total (Muñoz, 2009).

### **2.1.4. Principales prácticas culturales**

El jitomate es un cultivo que demanda entre otras prácticas culturales el tutoreo, principalmente cuando este se desarrolla en condiciones de invernadero y es de crecimiento indeterminado para evitar que las plantas se acamen y estén en contacto con el suelo o sustrato, además de evitar el sombreado que afecta el desarrollo de la planta, facilitar las labores de poda, aplicación de agroquímicos y cosecha (Garza y Molina, 2008).

Este procedimiento se debe iniciar de 15 a 25 días después del trasplante; tiempo en el que la planta tendrá una altura aproximada de 25 a 30 cm o bien cuando las plantas presenten 6 hojas verdaderas y antes de que empiecen a doblarse (Velasco *et al.*, 2011). Para el tutoreo se utilizan hilos de rafia, sujetándole un extremo del hilo al tallo a unos centímetros por encima del cuello de la planta con



un nudo no corredizo y no muy cerrado para evitar estrangulamiento. La rafia se enreda en espiral a lo largo del tallo de la planta y el otro extremo del hilo se sujeta a las estructuras de carga del invernadero. Esta práctica se realiza durante todo el ciclo del cultivo, a medida que las plantas van creciendo.

La poda es una práctica forzosa en el cultivo de jitomate que consiste en la eliminación de algunas partes de la planta como hojas, tallos y frutos para mejorar el desarrollo y aspecto de la planta relacionado con su eficiencia fotosintética, hábito de crecimiento, sanidad, fructificación y facilidad de manejo. La poda de brotes laterales consiste en la eliminación de chupones que se desarrollan en la base axilar de la hoja; estos brotes se eliminan preferentemente antes de que superen los 5 cm de longitud, ya que al eliminar brotes más desarrollados se produce una herida mayor incrementando la susceptibilidad a enfermedades y desgaste de la planta. Esta práctica es necesaria ya que si no se realiza se debilita el crecimiento de frutos y de la misma planta; se trata de evitar la pérdida de nutrientes y exceso de follaje, ya que estos demandan nutrientes y azúcares para su desarrollo entrando en competencia los brotes, flores y frutos (Velasco *et al.*, 2011): con la poda de chupones se garantiza un mayor crecimiento de la planta y frutos de máximo calibre y excelente calidad (Nuño, 2007).

La poda de hojas es una práctica obligada que favorece la captación de luz y la aireación entre plantas (Duran, 2009). Se recomienda eliminar las hojas viejas, enfermas y amarillentas que ya no son activas fotosintéticamente. Las hojas viejas deberán eliminarse cuando los primeros frutos han alcanzado su madurez fisiológica cuidando siempre que exista al menos de una a dos hojas activas en la parte inmediata superior al racimo que aún no ha alcanzado su madurez fisiológica. A medida que se van cosechando los frutos de abajo hacia arriba del tallo, se van podando también las hojas y los racimos ya sin frutos (Velasco *et al.*, 2011).

Con la poda de flores y frutos (raleo) se busca balancear el crecimiento vegetativo y generativo de la planta, y homogenizar y aumentar el tamaño de los frutos restantes, así como su calidad (Jaramillo *et al.*, 2007). Esta práctica no se realiza

de manera obligada, únicamente cuando el número de frutos y flores sea excesivo.

### **2.1.5. Requerimientos climáticos del cultivo**

El manejo adecuado de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el óptimo desarrollo de cualquier cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados e inciden uno sobre otro.

La temperatura es un factor importante en cada etapa de desarrollo del cultivo de jitomate; que en general, requiere temperaturas altas. En la etapa de germinación, la temperatura óptima requerida es de un rango de 20 a 30 °C (Morales, 2006; Rodríguez *et al.*, 2006); por debajo de los 10 °C la semilla no germina o lo hace disparejo. En la etapa de crecimiento la temperatura óptima es de 21 a 26 °C. Una temperatura permanente menor a 15 °C detiene la floración y periodos prolongados con temperaturas inferiores a los 10 °C la planta reduce significativamente su crecimiento (Gil y Suazo, 2014). En caso de elevarse la temperatura a más de 35 °C la fotosíntesis disminuye formando hojas más pequeñas y tallos más delgados (Muñoz, 2004).

El tomate se considera una planta termoperiódica que responde favorablemente a fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche; esta oscilación térmica debe ser al menos de 8 °C, lo que favorece su crecimiento y la formación de un mayor número de flores (Gil *et al.*, 2003). Durante la floración, considerada la etapa más sensible en cuanto a temperatura se refiere, la planta requiere en el día de 23 a 26 °C y en la noche de 15 a 18 °C. Con temperaturas por encima de los 35 °C los granos de polen se deshidratan, el pistilo de las flores se prolonga de manera anormal situándose por encima de los granos de polen antes de que las anteras se abran, por lo que no puede realizarse la polinización creando poco amarre de frutos. Temperaturas inferiores a los 12 °C ocasionan que el polen pierda viabilidad reduciéndose con esto la autopolinización provocando la caída de flores o frutos demasiado pequeños y con ello disminución de rendimiento (Velasco *et al.*, 2011).

En la etapa de fructificación, donde se da la fecundación y amarre de frutos se establece un requerimiento de temperatura nocturna entre los 14 y 18 °C y de 23 a 26 °C durante el día, siendo la temperatura nocturna la que más influye en esta etapa. Durante la etapa de llenado de frutos, el efecto de altas temperaturas se ve reflejado en la disminución del tamaño de frutos cuajados, ya que se retarda la fotosíntesis y se acelera la actividad respiratoria de la planta originando células más pequeñas (Muñoz, 2009).

La humedad relativa tiene una influencia potencialmente positiva sobre el crecimiento de las plantas, siendo la óptima entre 50 y 60 %; valores más altos dificultan la fecundación debido a que los granos de polen se compactan y no pueden liberarse abortando gran parte de las flores y deformaciones en frutos (Gil y Suazo, 2014). La humedad relativa del 80 % o más, favorece el desarrollo de enfermedades fungosas principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*) y moho gris o botritis (*Botrytis cinerea*). Valores de humedad relativa inferiores al 50 % también ocasionan serios problemas en las plantas, ya que dificultan la fijación del polen al estigma de la flor, además de que el polen se deshidrata muy rápidamente y disminuye el amarre de los frutos; también incide disminuyendo el proceso de transpiración de la planta creando problemas por deficiencias de calcio en los frutos (Velasco *et al.*, 2011).

En cuanto a los efectos de la luz, esta incide directamente en el proceso de fotosíntesis, y este a su vez en la síntesis de carbohidratos, lo cual afecta el desarrollo vegetativo de la planta, la floración y la producción y calidad de frutos. El jitomate se considera una planta de fotoperiodo neutro, desarrollándose mejor con intensidad luminosa alta. Muñoz (2009) reporta que para que el jitomate produzca con mínimas restricciones fotosintéticas debe haber una radiación incidente en el orden de 14 a 16 MJ/m<sup>2</sup> (3.89 kW m<sup>-2</sup>) por día; por lo que, Velasco *et al.* (2011) hacen énfasis en la importancia de la radiación en las plantas y consideran de gran importancia el manejo de factores tales como la orientación del invernadero, la densidad de plantación, intensidad y sistema de poda y tutoreo.

### **2.1.6. Requerimientos edáficos del cultivo**

La humedad en suelo o sustrato es un factor importante en el cultivo de jitomate; es necesario mantener una humedad constante ya sea en suelo o sustrato para evitar marchitamientos que afecten el desarrollo de la planta. El exceso de humedad en el suelo o sustrato al igual que en el ambiente provoca el desarrollo de enfermedades ocasionadas por patógenos como *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, ya sea en forma independiente o en complejo atacando principalmente la raíz o el cuello de la planta que provocan marchitamientos vasculares. También es de vital importancia evitar que la planta sufra estrés hídrico ya que se alteran todos los procesos fisiológicos y los cambios repentinos de humedad en el fruto pueden originar agrietamientos demeritando su calidad (Velasco *et al.*, 2011).

La salinidad tiene distintos efectos en las plantas de tomate y aunque está clasificada como medianamente tolerante, la mayoría de estos efectos son adversos. En la etapa de germinación, el porcentaje disminuye y se prolonga el tiempo en el cual las semillas llevan a cabo este proceso; a nivel de raíces, éstas alcanzan una menor longitud de modo que el área de exploración disminuye y se altera la absorción de agua afectando su crecimiento; los órganos del sistema aéreo también se alteran por efecto de las sales, los tallos alcanzan una menor altura, las hojas se reducen en número y presentan desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados; y el número y peso de los frutos también se afectan negativamente de manera que su rendimiento comercial disminuye (Goykovic y Saavedra, 2007).

El lavado de suelos, nivelación de terrenos y mejorar el drenaje disminuyen los problemas de salinidad. Cuando se cultiva en hidroponía se da la acumulación de sales en la superficie del sustrato que podemos identificar como manchones color blanco producto de las sales acumuladas; para eliminarlas se recomienda la aplicación semanalmente de riegos pesados con agua para lavar el exceso de sales en el sustrato. El exceso de sales se expresa como conductividad eléctrica

(CE); para el jitomate es recomendable en un rango que va de 2 a 4 (Velasco *et al.*, 2011).

El pH de la solución que rodea a las raíces es de extrema importancia para un adecuado desarrollo de las plantas. El tomate es una especie que requiere un pH de 6.0 - 6.9. El pH óptimo en el cual no hay problemas de deficiencias nutrimentales se encuentra entre 5.5 y 6.5. Si el pH de la solución nutritiva es menor a 5.0 debe alcalinizarse mediante la incorporación de algún hidróxido; esto evita deficiencias nutricionales, sobre todo de calcio, nitrógeno, azufre, cobre y molibdeno. Cuando el pH es superior a 6.8 también se induce una disminución en la producción porque la asimilación de los nutrientes no se realiza adecuadamente presentándose deficiencias de elementos, principalmente fósforo, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc. En este caso, habrá que acidificar utilizando cualquier ácido, comúnmente se utiliza el ácido sulfúrico, y ácido fosfórico (Velasco *et al.*, 2011).

#### **2.1.7. Requerimientos nutrimentales del cultivo**

Una nutrición vegetal adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo del cultivo y consecuentemente para la calidad del fruto; tanto el contenido de un nutriente como el equilibrio entre dos o más pueden afectar al crecimiento y estado fisiológico de la planta pudiendo originar alteraciones tanto por deficiencia como por una dosis excesiva. La observación de síntomas visibles de las alteraciones nutricionales es un método de diagnóstico cualitativo (Garate y Bonilla, 2008).

En el cultivo de jitomate la extracción y acumulación de nutrientes aumenta conforme se incrementa el crecimiento de la planta; la floración y fructificación son las etapas en las que se da la mayor absorción de nutrientes. Jaramillo *et al.* (2007) mencionan que la absorción de N, P, K, S, y Mg se incrementan de manera considerable al iniciar la etapa de floración y hasta el inicio de la maduración de frutos a los 45 y 90 días después del trasplante respectivamente. Además de la etapa de desarrollo del cultivo; el consumo de nutrimentos de la planta de tomate

también está en función del rendimiento. A mayor rendimiento, la planta tiene un mayor consumo nutrimental (Castellanos y Ojodeagua, 2009b).

## **Nitrógeno**

Se considera fundamental en el crecimiento y producción del cultivo de jitomate; puede ser absorbido principalmente por las plantas en forma de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) aunque también puede ser asimilado en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). Este elemento es constituyente de aminoácidos, enzimas, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, amidas, algunas vitaminas; forma parte importante de la molécula de la clorofila y participa en numerosas funciones de la planta destacando la síntesis de proteína.

Una deficiencia de nitrógeno limita la división y expansión celular. Se producen plantas débiles y enanas, con crecimiento lento, que maduran precozmente, con rendimientos y calidad significativamente bajos. Los síntomas de deficiencia se pueden apreciar como una clorosis general ocasionada por la pérdida de clorofila; si la deficiencia es muy severa, las hojas se secan iniciando en la parte baja de la planta, ya que por ser un elemento muy móvil, los síntomas de deficiencias se presentan primero en las hojas más viejas (Velasco *et al.*, 2011). En tallo se observa reducción en su diámetro y acortamiento de entrenudos. Los botones florales se tornan amarillos y pueden llegar a caerse.

En condiciones de exceso también puede originar serios inconvenientes para la planta; este se traduce en una vegetación excesiva, tallos gruesos, hojas grandes que generan alta humedad relativa en el dosel del cultivo propiciando las condiciones para la ocurrencia de plagas y enfermedades. Las hojas se tornan verde oscuro, crecimiento succulento, el ramillete floral presenta hojas, aborto de flores, y se reduce el cuajado del fruto (Castellanos y Ojodeagua, 2009a).

## Fósforo

Es absorbido en forma de fosfato monovalente ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), aunque en condiciones de pH superior a 7.2, puede ser asimilado en forma de fosfato divalente ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ). Juega un papel importante en un gran número de reacciones enzimáticas, por lo que desempeña una función fundamental en la conservación y transferencia de energía. Interviene en la formación de los órganos reproductores, razón por la cual su concentración debe ser suficiente en los frutos. Aunque es utilizado en bajas cantidades, está relacionado con la síntesis de azúcar y almidón (Mengel *et al.*, 2001). Es un componente esencial de los ácidos nucleicos; juega un papel fundamental en las funciones reproductivas, tales como la floración, la precocidad a la madurez y calidad del fruto. En la etapa temprana, está implicado en el crecimiento de la raíz. Juega un papel importante en la translocación de azúcares y almidones (Castellanos y Ojodeagua, 2009a).

Las deficiencias de fósforo se observan con la presencia de una coloración purpura en las nervaduras del envés de las hojas jóvenes, en tallos y ramas producida por la acumulación de antocianinas. La planta muestra un crecimiento lento y hay retrasos en la madurez. Por ser un elemento de alta movilidad en la planta, los síntomas de deficiencia se muestran inicialmente en las hojas viejas. La mayor demanda de este elemento se da en la etapa de producción, por lo que es el momento idóneo para que se presenten las deficiencias (Velasco *et al.*, 2011).

Cuando se presentan excesos de fósforo en la planta se presentan deficiencias de Zn, Fe, o Mn. Un alto suministro de P interfiere también con la nutrición normal de  $\text{Ca}^{+2}$ , y en suelos con alto contenido de fósforo y niveles marginales de Zn, es importante incrementar considerablemente la concentración de Zn para evitar antagonismos con P (Castellanos y Ojodeagua, 2009a).

## Potasio

El potasio no tiene funciones estructurales, ya que no es constituyente de moléculas importantes. Su principal función bioquímica es la activación de varias enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, además de algunas necesarias para la formación de almidón y proteínas. El potasio es asociado con el mantenimiento del estado hídrico de la planta, en la presión de turgencia de sus células e interviene en la apertura y cierre de estomas, por lo que las plantas bien abastecidas de potasio pierden poca agua, incrementan el potencial osmótico y se influye favorablemente el cierre estomático. Suele asociarse a la calidad de los frutos (Montoya *et al.*, 2002) debido a que las frutas y vegetales que se producen con adecuados niveles de potasio presentan mejor calidad postcosecha y mayores niveles de azúcares (Castellanos y Ojodeagua, 2009a).

Las deficiencias de potasio son visibles fácilmente; Martínez *et al.* (2009) mencionan que los síntomas de deficiencia de potasio en el tejido foliar inician con manchas o puntos muy pequeños de forma irregular. Las hojas jóvenes se tornan verde oscuro y se enrollan hacia el envés, las hojas viejas se tornan cloróticas y bronceadas, los márgenes de las hojas se tornan café y el tejido puede presentar necrosis entre las nervaduras. La planta disminuye su crecimiento y sus entrenudos son más cortos (Gómez, 2006).

En frutos no se desarrollan lóculos y maduran disparejos. Esta última es una fisiopatía conocida como “Blotchy ripening” y cuyos frutos no son comerciales. Las plantas son más susceptibles a enfermedades, por ser un elemento muy móvil dentro de la planta las hojas más antiguas muestran un aspecto como si se hubieran quemado a lo largo de los márgenes y puntas. Además, se produce la caída prematura de hojas y frutos (Velasco *et al.*, 2011). Los excesos de potasio se expresan como una típica deficiencia de Magnesio en las hojas viejas. También puede mostrarse como una limitación en el suministro de Ca hacia el fruto debido al desbalance de cationes que el exceso de K puede provocar.



## **Calcio**

El calcio es el elemento que con más frecuencia se ha relacionado con la calidad de los productos hortofrutícolas y en especial con la textura, debido a que participa en numerosos procesos del desarrollo y en el mantenimiento de la estructura de la pared celular formando parte de la estructura de la protopectina, además, ejerce una acción favorable sobre el crecimiento radical y es necesario para el crecimiento de los tubos polínicos (Alcántar *et al.*, 2009).

El calcio es sumamente difícil de absorber y transportarse. Su absorción en el fruto y las hojas depende del movimiento de agua por el xilema, el cual es conducido por las fuerzas de transpiración. Cuando la demanda de agua por la planta es demasiado alta se incrementa considerablemente la transpiración de las hojas, manifestándose una disminución de flujo de agua por el xilema hacia los frutos, lo cual restringe el movimiento de Ca hacia ellos, aumentando la susceptibilidad a la deficiencia de este elemento ocasionando la pudrición apical (De Freitas *et al.*, 2011). Este desorden fisiológico se manifiesta como una mancha oscura en el ápice del fruto. Por lo general se presenta cuando el pH de la solución nutritiva es muy ácido o la concentración de sales en la solución o sustrato es muy alta, lo que causa una disminución en la entrada de agua y nutrientes a las raíces (Velasco *et al.*, 2011). La translocación dentro de la planta es en la savia del xilema en dirección acrópeta con la corriente de transpiración. Una deficiencia severa de calcio se manifiesta en las puntas de las raíces o de las hojas de crecimiento, las que se tornan deformes, cafés y suelen necrosarse. El calcio es un elemento de nula movilidad en la planta, por tanto, los primeros en manifestar los síntomas de deficiencia son los tejidos jóvenes.

## **Magnesio**

El magnesio forma parte esencial de la molécula de la clorofila, necesario para la formación de otros pigmentos, y es cofactor de una serie de enzimas. Una reacción clave del magnesio es la actividad de la rubisco, como consecuencia de

esa activación, el magnesio tiene un efecto favorable en la respiración, fotosíntesis y síntesis de ADN.

Las deficiencias de magnesio se muestran como una clorosis intervenal de los folíolos de las hojas basales y venas o nervaduras de color verde oscuro. Con una fuerte deficiencia los síntomas aparecen en las hojas más jóvenes, con el desarrollo de necrosis en deficiencias críticas. Los tallos se tornan débiles, las raíces se ramifican y alargan excesivamente (Velasco *et al.*, 2011) y en deficiencias severas aparecen pigmentos púrpura en los márgenes de las hojas y el cáliz (Gómez, 2006).

En condiciones de excesos de magnesio se induce una deficiencia de potasio o calcio, mostrando antagonismo entre ellos. El magnesio es móvil dentro de la planta ya que puede ser desplazado de tejidos maduros a tejidos jóvenes bajo condiciones de deficiencia.

## **Boro**

El boro juega un papel importante en la biosíntesis, en la estructura de la pared celular y en la integridad de la membrana plasmática, también se involucra en el transporte de azúcares, la lignificación y elongación de la pared celular, síntesis de ácidos nucleicos y respuestas hormonales (Gastelum, 2012).

Las deficiencias de boro se reflejan en el crecimiento anormal de las puntas de crecimiento de las plantas. El tejido puede detener su crecimiento y eventualmente muere. El boro juega un papel importante en la polinización, el cuaje y desarrollo de semillas. Las flores y frutos pueden abortar ante una deficiencia de boro. Cooman *et al.* (2005) reportaron que el boro en concentraciones deficientes induce el rajado de frutos. Los síntomas de toxicidad por exceso de boro se manifiestan como quemaduras de las puntas de crecimiento y de los márgenes de las hojas.

## **Hierro**

El hierro es un elemento esencial en la nutrición de las plantas por estar implicado en los procesos metabólicos (Oliver, 2009). Este micronutriente es importante en la síntesis de clorofila y participa en las reacciones de óxido/reducción. Su disponibilidad está muy asociado al pH de la solución nutritiva. A bajos pH se incrementa la disponibilidad y a elevado pH se manifiesta su deficiencia, así como también, en condiciones de anaerobiosis por exceso de riego (Castellanos y Ojodeagua, 2009a). Los síntomas de deficiencias de Fe se caracterizan por un color amarillento entre las nervaduras de las hojas jóvenes conocida como clorosis férrica, ocasionada por la disminución de los pigmentos fotosintéticos (Espinoza, 2010).

## **Azufre**

La planta absorbe la mayor parte del azufre en forma de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) a través de la raíz. Es un elemento poco móvil en la planta por lo que, de presentarse síntomas de deficiencia, estos aparecen primero en las hojas jóvenes de la planta, observándose una apariencia de coloración verde claro amarillenta y sus venas un color más claro. El espacio intervenal se seca, los tallos son cortos, endebles, de color amarillo y en ocasiones presentan coloración púrpura (Sánchez *et al.*, 2009).

### **2.1.8. Plagas y enfermedades**

El jitomate es una de las especies más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, siendo una de las principales limitantes para el desarrollo y producción del cultivo; por lo que se requiere desarrollar un plan de manejo fitosanitario, considerando factores agronómicos, biológicos, culturales y químicos.

Algunos factores que propician la aparición y desarrollo de plagas y enfermedades en jitomate son déficit nutrimental, altas temperaturas y humedad, uso de materiales e instrumental contaminado, presencia de cultivos hospederos

cerca del cultivo de interés, falta de higiene en el manejo del cultivo, entre otros; es por eso, que el monitoreo es fundamental para identificar la presencia de alguna plaga o enfermedad desde sus inicios, permitiendo así, implementar estrategias de control y evitar que afecten de manera significativa en el desarrollo y rendimiento del cultivo.

Para identificar dichas plagas o enfermedades es de gran ayuda conocer los hábitos del insecto, así como los síntomas principales de la enfermedad y las condiciones climáticas que favorecen su desarrollo.

En los siguientes apartados se hace una breve descripción de las principales plagas y enfermedades que se presentan en el cultivo de tomate.

#### **2.1.8.1. Plagas**

##### **Mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum* West., *Bemisia tabaci* Gennadius)**

Entre los principales problemas de importancia económica en jitomate se encuentra la mosquita blanca. Su importancia deriva en el daño directo ocasionado por las ninfas y adultos. Las mosquitas blancas son insectos chupadores que se encuentran en el envés de las hojas. Miden entre 1 y 2 mm, con alas de color blanco ceroso o blanco amarillento. Las ninfas son de forma oval, aplanada, semitransparente y de color verde pálido, con la apariencia de una pequeña escama. La hembra puede ovipositar alrededor de 300 huevos, llegando a producir de once a doce generaciones por año a una temperatura de 20 °C cada 34 días en promedio, mientras que a 30 °C completan su ciclo en 16 días (Velasco *et al.*, 2011).

Es la plaga más común en jitomate y más severa cuando se cultiva en invernadero debido a las condiciones ambientales, temperatura y humedad relativa; aunque es probable encontrarla durante todo el ciclo del cultivo, las poblaciones más numerosas inciden en los primeros 50 días después del trasplante. Su dispersión es principalmente por aire y material infestado. Las

ninfas y adultos se alimentan del envés de las hojas succionando la savia, producen secreciones azucaradas que promueve el desarrollo de un hongo que provoca la enfermedad conocida como fumagina que afecta las funciones fisiológicas de la hoja y la apariencia del fruto; además, es vector de un gran número de virus en cultivos hortícolas entre ellos el virus del rizado amarillo de tomate (TYLCV) y el virus de la marchitez manchada del tomate (TSWV) los cuales disminuyen considerablemente el desarrollo del cultivo y la producción, así como la calidad del fruto (Ortega, 2007).

Las infestaciones elevadas de mosquita blanca provocan en las plantas una necrosis marcada y defoliación prematura; como consecuencia detienen el crecimiento. El control de esta plaga es difícil, ya que produce varias generaciones en poco tiempo permitiéndole crear resistencia a los insecticidas químicos. Para su prevención se recomienda usar mallas antiáfidos en ventanas laterales y cenitales del invernadero, eliminar malezas y restos de cultivo dentro y fuera del invernadero, no tener cultivos en diferente etapa de desarrollo dentro de un mismo invernadero, realizar podas de manera oportuna y uso de trampas cromáticas. Cuando la infestación pasa el umbral económico aceptable, se recomienda el uso de productos químicos. Se considera como umbral económico a la densidad mínima de insectos- plaga que causa un daño económico en la cosecha.

### **Minador de la hoja (*Liriomyza* spp.)**

Los adultos son moscas pequeñas de 2.0 mm de longitud, con la cabeza de color amarillo con negro, el abdomen es amarillo con rayas negras transversales. Las larvas no presentan patas ni cabeza diferenciada, son de color amarillo; se localizan en medio de la lámina foliar de las hojas, miden de 2.0 a 4.0 mm de longitud (Garza y Rivas, 2003).

El daño principal es ocasionado por las larvas que se alimentan y desarrollan dentro de la hoja, específicamente en la parte media de la lámina foliar produciendo minas y galerías. En infestaciones fuertes, la planta toma un color

blanquecino disminuyendo la actividad fotosintética de la hoja, por tanto, afectando su desarrollo normal; también pueden ocasionar la defoliación de la planta y, consecuentemente, la reducción del rendimiento y calidad de los frutos. Los adultos pueden ocasionar daño al ovipositar y alimentarse, lo que se manifiesta en diminutas picaduras sobre la superficie de la hoja, que sirven de entrada a fitopatógenos (bacterias y hongos). Esta plaga tiene importancia en la etapa de plántula de tomate o durante los primeros 30 días de desarrollo después del trasplante (Garza y Rivas, 2003).

Algunas prácticas de control recomendadas son la eliminación de malezas dentro y fuera del invernadero, realizar podas y quema de hojas minadas, y usar trampas de color amarillo. Para un mejor control se recomienda la aplicación de insecticidas con efecto traslaminar.

### **Trips (*Trips tabaci* Linderman, *Frankliniella Occidentalis* Pergande)**

La especie más importante en el cultivo de jitomate es *F. occidentalis*. Esta plaga es polífaga y provoca daños directos que perjudican seriamente el valor comercial de los frutos. El principal daño causado se debe a su eficiencia en la transmisión del Virus del Bronceado del Tomate (TSWV), que afecta de manera grave al cultivo (Van Der Blom, 2005).

Los daños causados por su hábito de alimentación se manifiestan tanto en el haz como en el envés de las hojas en forma de placas plateadas o de zonas necróticas que se hacen mayormente visibles en las hojas totalmente desarrolladas; cuando las hojas son jóvenes aún, la presencia de esta plaga provoca deformaciones en su desarrollo.

### **Pulgón (*Myzus persicae* Sulzer, *Aphis gossypii* Glover)**

Es considerado un insecto cosmopolita. Se encuentra presente en países como Australia, Brasil, Sudáfrica y México, entre otros (Cédola & Grecob, 2010). Este insecto provoca daños directos e indirectos. El daño directo lo ocasiona al succionar la savia, lo que provoca poco crecimiento vegetativo, deformación y

escaso crecimiento de brotes, presencia de fumagina como consecuencia de las excretas del insecto; pero posiblemente el daño más grave que provoca es la transmisión de virus (Blancard, 2011).

León y Viterio (2004) mencionaron que algunos de los factores que favorecen el crecimiento de la población de esta plaga son periodos prolongados de sequía y fertilización excesiva de nitrógeno.

### **Araña roja (*Tetranychus urticae* Koch)**

La araña roja coloniza principalmente las hojas jóvenes, aunque en caso de ataque severo se distribuye sobre todas las hojas de la planta, donde teje capas de seda creando un micro clima que la protege de la deshidratación y ataque de sus depredadores. Su importancia se debe al daño que ocasionan las ninfas y adultos en el envés de las hojas al succionar la savia; el tejido afectado toma una coloración amarillenta, que se torna marrón con el paso del tiempo (Garza y Rivas, 2003).

Debido al alto potencial de reproducción de esta plaga es conveniente prevenir su incidencia en el cultivo realizando monitoreo frecuente para detectar los primeros focos de infección. Es recomendable mantener limpio de malezas tanto el área de invernadero como sus alrededores, ya que podría actuar como un reservorio de esta plaga.

## **2.1.8.2. Enfermedades**

### **Tizón tardío (*Phytophthora* spp.)**

Es considerada la enfermedad más peligrosa en el cultivo de tomate llegando a ocasionar la pérdida total del cultivo cuando no se controla oportunamente (Mendoza, 2007). Las condiciones propicias para que esta enfermedad se presente son humedad relativa superior al 90 % durante un periodo mayor de 18 a 24 horas y una temperatura de 16 a 22 °C. El desarrollo de la enfermedad es más rápido cuando se presentan periodos frescos, lluviosos y húmedos en las

mañanas, seguidos de periodos más cálidos (Mendoza, 2007). Se disemina través del desprendimiento y acarreo de zoosporas por corrientes de aire, por restos de material vegetal contaminado, ropa de trabajo y herramientas contaminadas, frutos dañados durante las actividades de poda, tutorio, cosecha, etc.

La sintomatología inicia con hojas dobladas en un ángulo de inclinación que puede llegar a los 90° o mayor antes de que sean visibles las lesiones; estas son de forma irregular, hundidas, de color verdoso, que posteriormente se alargan y oscurecen rápidamente dándole a los tejidos una apariencia rígida. En los bordes de las lesiones, en condiciones de humedad se observa un tenue vello algodonoso color blanco, formado por los esporangióforos y esporangios del hongo. En el tallo se aprecian manchas pardas y negruzcas que se extienden a ramas y peciolo, en las plantas jóvenes, el tallo puede mostrar un daño por estrangulamiento en la zona afectada (Blancard, 2011). En frutos se identifica por manchas circulares constituidas por anillos concéntricos, inicialmente de color café para después tornarse marrón oscuro y de aspecto rugoso (Mendoza, 2007).

### **Tizón temprano (*Alternaria solani*)**

Las condiciones ambientales para que esta enfermedad se presente son: humedad relativa mayor al 70 % por periodos prolongados durante la noche seguido de periodos secos durante el día con temperaturas entre 20 y 25 °C. El daño más severo se presenta cuando la planta tiene abundante fructificación o por deficiencias nutricionales (Velasco *et al.*, 2011). El hongo puede sobrevivir por más de un año en residuos y semillas y se disemina principalmente por el manejo del cultivo, acción del viento, agua de riego, insectos y maquinaria agrícola.

Los síntomas se presentan en cualquier etapa de desarrollo del cultivo pudiendo aparecer en tallos, hojas y frutos. Inicialmente aparecen manchas circulares o angulosas de color café a negro que aumentan su tamaño y forman anillos concéntricos, los cuales pueden coalescer dañando toda la lámina foliar. En



ramas y tallos las lesiones son alargadas con anillos concéntricos, debilitando los tallos hasta ocasionar su caída por el peso de los frutos. En los frutos, las lesiones son hundidas y oscuras con anillos concéntricos, generalmente en la base del fruto (Mendoza, 2007).

### **Moho gris (*Botrytis cinerea*)**

Esta enfermedad se presenta cuando hay condiciones de humedad relativa mayor al 90 % en etapas avanzadas de desarrollo del cultivo, es decir, cuando inicia la maduración de los frutos del primer racimo floral. Se presenta en manchones, especialmente entre las hileras por donde se tiene poca penetración de la radiación solar. Las esporas del hongo se diseminan principalmente por efecto de corrientes de aire durante las labores de manejo como poda, tutoreo, cosecha, etc. El moho gris ataca principalmente a las flores, lo cual afecta directamente el rendimiento; el principal síntoma es secadera de flores, posteriormente aparece una cubierta fungosa donde se encuentran las esporas. Cuando el daño se extiende a los tallos se observan manchas alargadas de color gris y de consistencia algodonosa. El hongo penetra principalmente por las heridas causadas durante la poda de hojas, brotes y frutos. Se presenta principalmente en frutos inmaduros, tornándose de color verde a café claro o blanco; conforme el daño avanza, se desarrolla internamente una pudrición suave con esporulaciones de color gris sobre el área afectada.

### **Damping off o ahogamiento del tallo (*Phytophthora*, *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* spp.)**

Los principales factores que inciden en el desarrollo de la enfermedad son: alta humedad y mal drenaje del sustrato, temperaturas en el sustrato de 12 a 17 °C (Mendoza 2007), excesos de riegos, poca ventilación o circulación de aire, pH mayor a 7, alta densidad de plantas, etc. El damping off, secadera o ahogamiento del tallo como comúnmente se le conoce es una de las enfermedades que se presenta principalmente en almácigos o semilleros, ocasionando una pudrición en la base o cuello de la plántula, con una mortandad del 15 % o más en estado

de plántula, aunque también se puede presentar en plantas después del trasplante. Se identifican dos tipos de damping off según el momento de su aparición: el damping off pre-emergente ocurre al iniciarse el desarrollo de la radícula de la plántula, es decir, antes de que la planta emerja; el damping off post-emergente se distingue porque provoca necrosis en el tallo por debajo de la superficie del suelo. En el follaje se manifiesta con una coloración amarillenta y plántulas flácidas que posteriormente se doblan (Velasco *et al.*, 2011).

### **Cenicilla (*Leveillula taurica*)**

El daño ocasionado por el ataque de cenicilla, es la reducción del área fotosintética y en consecuencia, baja el rendimiento y la calidad de los frutos (Mendoza, 2007). Las condiciones favorables para el desarrollo de la cenicilla en tomate son temperaturas superiores a 26 °C y humedad relativa de 52 a 72 %. Se disemina por corrientes de aire que llevan las esporas de las plantas infectadas a las plantas sanas. Los síntomas aparecen primero en hojas viejas, donde se observan manchas verdes amarillentas, casi circulares en el haz de las hojas afectadas; posteriormente el centro de la lesión se deshidrata tornándose de color café; en condiciones favorables, las lesiones pueden extenderse hasta unirse y deshidratar la hoja por completo. En condiciones de humedad relativa mayor al 70 %, en las hojas se observan unas manchas de color blanco de consistencia polvorienta que indican el crecimiento del hongo (Velasco *et al.*, 2011).

#### **2.1.9. Parámetros importantes en la calidad del fruto**

La percepción del consumidor de la calidad de jitomate involucra tanto factores externos como internos como: el sabor, aroma, vida de anaquel y la textura del fruto (Lecomte *et al.*, 2004).

Algunos de estos atributos de calidad han sido relacionados con parámetros fisicoquímicos que son definidos como buenos indicadores, por ejemplo el sabor se determina por el contenido de sólidos solubles totales (SST), azúcares y ácidos orgánicos; se determina por la relación entre sólidos solubles totales y el

contenido de ácidos (Anza y Riga, 2007). El incremento en el contenido total de azúcares y ácidos aumenta la intensidad del sabor (Gómez y López, 2002). En bajas concentraciones de ácido cítrico y glucosa la fructosa reduce la acidez, de tal forma que un mejor sabor requiere una concentración de azúcar elevada y un contenido relativamente elevado de ácidos; una concentración baja en azúcares y alta en ácidos produce un sabor agrio en los jitomates; un contenido elevado de azúcares y bajo en ácido produce un sabor dulce o suave; y un contenido bajo en ambos produce un sabor insípido (Rosales, 2008). Para evaluar textura de fruto generalmente se utilizan mediciones instrumentales para relacionar las propiedades mecánicas de los tejidos de las frutas (Chaib *et al.*, 2007).

Los pigmentos de los frutos maduros no solo son atractivos para los consumidores, sino que además tienen efectos benéficos para la salud, debido a que son nutrientes esenciales que no pueden ser sintetizados en el cuerpo humano (Carrari & Fernier, 2006). Las cualidades anteriormente mencionadas se determinan con pruebas de laboratorio siguiendo una metodología establecida.

Algunos otros factores que determinan la calidad del fruto son uniformidad, ausencia de manchas y defectos (Nuez, 2001) y estos se describen en la Norma del Codex para el tomate CODEX STAN 293-2007 que se aplica a las variedades comerciales de tomate saladette obtenidos de *Solanum lycopersicum* L. de la familia Solanaceae, que habrán de suministrarse frescos al consumidor, después de su acondicionamiento y envasado. La clasificación por calibre se realiza con base en el tamaño del fruto; y en todas las categorías los frutos deberán estar enteros, sanos y exentos de pudriciones o daños mecánicos, plagas o daños causados por ellas, así como suficientemente desarrollados y presentar un grado de madurez satisfactorio. La clasificación para jitomate tipo bola se realiza según lo aplicable a productos alimenticios no industrializados establecido en la Norma Mexicana NMX-FF-009-1982.

### **2.1.10. Licopeno**

El licopeno es un carotenoide que se encuentra principalmente en el jitomate, este pertenece al grupo de pigmentos responsables de su coloración durante los diferentes estadios de madurez del fruto (Cruz *et al.*, 2013; Luna y Delgado, 2014). En el proceso de maduración, las clorofilas se degradan y se sintetizan los carotenoides, los cuales le confieren al tomate la coloración anaranjada tenue que culmina en un rojo intenso (Luna y Delgado, 2014), lo cual es considerado como un indicador de la calidad del fruto (Candelas *et al.*, 2006).

De manera particular, el licopeno ha llamado la atención dado sus propiedades biológicas y fisicoquímicas en la prevención de enfermedades crónicas como cáncer de próstata, ovárico, gástrico y pancreático, enfermedades cardiovasculares (Singh y Goyal, 2008), neurodegenerativas, e hipertensión entre otras, en las cuales el estrés oxidativo es un importante factor etiológico (Waliszewsky y Blanco, 2010), es así, como los antioxidantes incluyendo el licopeno, interactúan con las especies reactivas del oxígeno, pudiendo aminorar el efecto dañino y desempeñar un papel importante en la prevención de dichas enfermedades (Yeung, 2001).

Los jitomates y sus derivados representan la mayor fuente de licopeno ya que comprende aproximadamente de 80 a 90 % de los pigmentos presentes en el fruto (Cruz *et al.*, 2013). El contenido de licopeno varía considerablemente entre cultivares, el estado de desarrollo del fruto y condiciones de crecimiento (Crisanto *et al.*, 2010); las condiciones ambientales durante el cultivo como: intensidad de la luz, pH del suelo o sustrato, frecuencia de riego, y tipo de fertilización pueden afectar la composición química del fruto. Asimismo, durante la maduración del tomate, se inducen varios cambios metabólicos relacionados con la biosíntesis de compuestos, incluyendo el licopeno y otros carotenoides (Luna y Delgado, 2014). Particularmente, el tomate cherry tiende a generar valores nutricionales y antioxidantes más acentuados que los tomates de tipo saladette y bola (Crisanto *et al.*, 2010).

### **2.1.11. Vitamina C**

La vitamina C o ácido ascórbico es una vitamina hidrosoluble derivada del metabolismo de la glucosa. El tomate posee compuestos bioactivos con capacidad antioxidante como vitamina C (Galvis *et al.*, 2012), que actúa como agente reductor que protege al organismo del daño causado por radicales libres (Valdés, 2006). Debido a que en el cuerpo humano no se puede sintetizar ácido ascórbico, se recomienda el consumo de alimentos, entre los cuales se incluya el tomate, considerado como una importante fuente de vitamina C (Candelas *et al.*, 2005). Se ha demostrado que ciertas operaciones de manejo post cosecha y procesamiento del tomate (cortado, empacado y almacenado) pueden alterar las concentraciones de vitaminas y minerales en el fruto (Luna y Delgado, 2014).

## **2.2. MICORRIZAS**

### **2.2.1. Definición**

Etimológicamente la palabra micorriza proviene del griego *mykos* que significa hongo y del latín *rhiza* que significa raíz, vocablo utilizado por primera vez por el patólogo alemán Albert Bernard Frank en 1885 para referirse a la asociación de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos; es decir, se conoce con el nombre de micorriza a la asociación simbiótica mutualista que se establece entre las raíces de las plantas y determinados hongos del suelo que influyen positivamente en el crecimiento y desarrollo de la raíz (Mujica *et al.*, 2010), por medio de un sistema de hifas extrarradicales (Sánchez, 2009); de esta forma el sistema de hifas permite un mayor volumen de exploración de la rizosfera (Pérez y Castro, 2011), permitiéndole a la planta absorber, acumular y transferir los principales macro y micro nutrientes (Latacela *et al.*, 2017), tanto los de lenta difusión en el suelo como fosfatos solubles y los iones de zinc y cobre, los cuales son absorbidos y transportados hasta el hospedero (Hernández y Fortis, 2010), favoreciendo su balance hídrico y nutricional (Pérez y Castro, 2011; Negrete *et al.*, 2013).

### 2.2.2. Tipos de hongos micorrízicos

Los hongos micorrízicos son especies con la capacidad de colonizar el exterior e interior de las raíces de absorción de las plantas para obtener compuestos orgánicos esenciales (Latacela et al., 2017). Existen 125 especies de hongos capaces de formar simbiosis con la gran mayoría de plantas superiores (Pajarito, 2012). Respecto a los tipos de micorrizas, diferentes taxónomos declaran que existen varios tipos o grupos; en 1969, Peyronel y colaboradores definieron tres grupos fundamentales según la estructura de la micorriza: Endomicorrizas, Ectomicorrizas y Ectendomicorrizas (Figura 1). Tiempo después, Ferrera y Pérez (1995) afirmaron que los tipos de micorrizas más comunes y de mayor importancia se reducen a los grupos de ectomicorrizas y endomicorrizas, distinguiéndose por la relación que existe entre las hifas del hongo y las células radicales del hospedero.

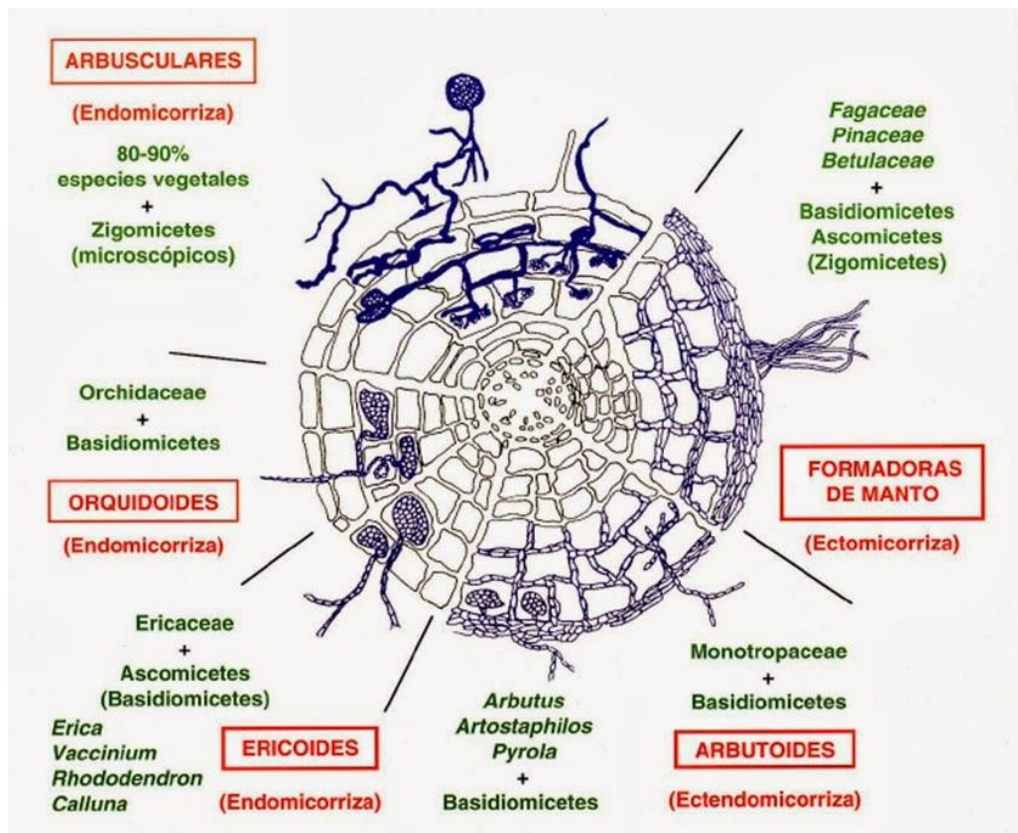
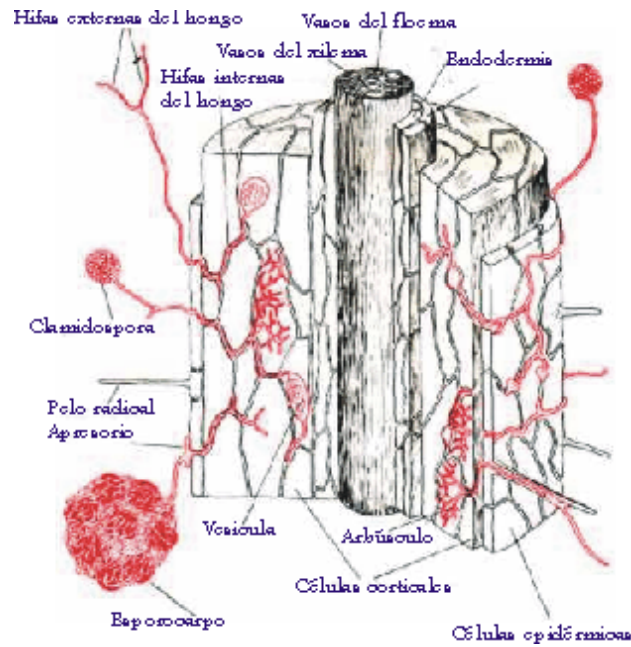


Figura 1. Clasificación general de hongos micorrízicos.

### **Descripción de los tipos de micorrizas:**

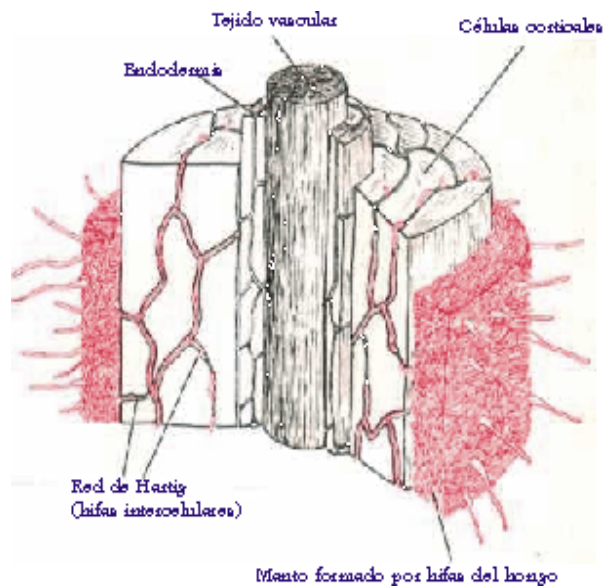
Las endomicorrizas se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical. Los hongos que la forman pertenecen a la división de Glomeromycetes que se encuentran en la mayoría de las plantas, predominando en árboles, arbustos, gramíneas y herbáceas. Este grupo se subdivide en Ericoides, Orquidoides y Arbusculares. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan el grupo de microorganismos rizosféricos que se encuentran en la mayoría de las plantas terrestres (Aguilera *et al.*, 2007; Smith y Read, 2008) siendo capaz de establecer una asociación mutualista o simbiosis con más del 90 % de las especies de plantas (Smith & Smith, 2012) influyendo positivamente en su crecimiento y desarrollo (Mujica *et al.*, 2010). Son microorganismos rizosféricos cosmopolitas que están ecológicamente adaptados y pueden ser sujetos de manipulación para la producción de inoculante, con el objetivo de mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas, particularmente en condiciones adversas para el cultivo (Ferrera y Alarcón, 2007).

Las hifas del grupo de HMA se introducen inicialmente entre las células de la raíz y posteriormente penetran el interior formando vesículas y arbusculos, por lo que se conocen también como micorrizas vesículo - arbusculares (Figura 2). Se considera que las estructuras especializadas llamadas arbusculos actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped (Aguilera *et al.*, 2007); y las vesículas, por su composición mayormente de lípidos se consideran estructuras de reserva para el hongo (López, 2011). Las hifas de las micorrizas vesículo - arbusculares se extienden ampliamente en el suelo y funcionan como una extensión de las raíces de la planta incrementando la capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo (Morales, 2013).



**Figura 2.** Colonización de endomicorizas.

Las ectomicorizas o formadoras de manto se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio llamada red de Hartig (Agrios, 2002) sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de las plantas que ayuda a estabilizar el suelo y ampliar el acceso de las plantas a las fuentes de agua y nutrientes (Figura 3). Las hifas se encuentran entre células corticales de la raíz y no penetran las células de esta (Ferrera y Pérez, 1995).



**Figura 3.** Colonización de ectomicorizas.



Las ectendomicorrizas se describen por presentar características intermedias entre las endomicorrizas y ectomicorrizas, pues presentan un manto externo y también penetran las células. En este grupo de micorrizas no hay formación de vesículas ni arbuscúlos (Ferrera y Pérez, 1995).

### **2.2.3. Importancia de las micorrizas en la agricultura**

Es fundamental que la agricultura sea una actividad que pueda realizarse por muchos años de manera sustentable, es decir, que no incremente el agotamiento de los recursos naturales de los que depende, que genere buenos rendimientos e ingresos a los productores para que se tengan beneficios sociales y económicos, que produzca alimentos de calidad y que no tenga efectos negativos en el ambiente. Si bien es cierto que los fertilizantes químicos y en general los insumos agrícolas aumentan la productividad agrícola, se sabe también que la productividad no se sostiene por mucho tiempo si realizamos un mal manejo de los recursos.

Actualmente, en la agricultura es necesario recurrir a nuevas tecnologías, las cuales deben ser orientadas a mantener la sostenibilidad del sistema productivo mediante la explotación racional de los recursos naturales y aplicación de medidas adecuadas para preservar el ambiente; en este sentido, la biotecnología conocida comúnmente como el uso de biofertilizantes, representa una importante alternativa que en conjunto con la agricultura convencional, puede incrementar los rendimientos agrícolas, al mismo tiempo que se disminuye el impacto ambiental.

Grageda *et al.* (2012) definen como biofertilizantes a los productos preparados de microorganismos aplicados al suelo, sustrato y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética (Aguado *et al.*, 2012), así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos. A raíz de esto, surgen insumos agrícolas a base de microorganismos y materiales de origen orgánico debido al amplio espectro de beneficios hacia la planta, ya que ejercen una gran influencia sobre la fertilidad y desarrollo de las mismas, y es así, como la agricultura moderna ha ido incrementando la tendencia hacia el uso de microorganismos benéficos (Guerra, 2008), de tal forma, se sugiere que el uso de biofertilizantes en la agricultura

representa una alternativa que coadyuva a la sostenibilidad del sistema agrícola que de manera conjunta promueve la sanidad de los cultivos y reduce la utilización de productos químicos (Moreno, 2012; Díaz *et al.*, 2012; Grageda *et al.*, 2012).

En este contexto, Díaz *et al.* (2013) señalan su uso como tecnologías sostenibles entre los cuales se encuentran los hongos micorrízicos. Las micorrizas poseen características tanto físicas como químicas y a su vez biológicas que determinan la fertilización y conservación de los agrosistemas. La actividad de estos microorganismos influye en la cinética que se lleva a cabo en los suelos cultivados y no cultivados tales como la mineralización e inmovilización de nutrientes y su participación activa en el ciclo de los nutrientes del suelo (Modjo *et al.*, 2006).

Este grupo de microorganismos edáficos establecen simbiosis con las raíces de las plantas influyendo positivamente en su crecimiento y desarrollo (Mujica *et al.*, 2010). En esta simbiosis el hospedero suministra carbohidratos al hongo y del 10 al 20 % de CO<sub>2</sub> asimilado (Harris *et al.* 2009), a su vez el hongo transporta los nutrientes que la planta requiere (Ramírez y Rodríguez, 2010) a través de una extensión del micelio que permite un mayor volumen de exploración en el sustrato, facilitando a la planta la absorción de agua y minerales, principalmente fósforo y nitrógeno (Ávila *et al.*, 2015). Con la colonización micorrízica en las raíces, hay mayor superficie de absorción, mayor longevidad de los pelos absorbentes, un mejor aprovechamiento a la baja disponibilidad de nutrientes y una mejor retención de nutrientes solubles, lo que reduce la reacción con los coloides del suelo o pérdidas por lixiviación (Selvaraj y Chelleppan 2006), reduce la susceptibilidad de la raíz a patógenos del suelo (Singh *et al.*, 2013) tales como nemátodos y hongos fitopatógenos (Selvaraj y Chelleppan, 2006), e inciden favorablemente en el desarrollo de las plantas (West *et al.*, 2009).

Las micorrizas arbusculares incrementan el establecimiento de la nodulación y la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas (Turk *et al.*, 2006) e influyen en la colonización de las raíces por otros microorganismos. Las MA también modifican las relaciones agua-suelo-planta, promoviendo así una mejor adaptación de las plantas a condiciones adversas, como la sequía, la salinidad o estrés por calor. En concentraciones elevadas de metales pesados en el suelo, los hongos micorrízicos

han demostrado desintoxicar el entorno para el crecimiento de la planta (Muchovej, 2004).

A nivel mundial el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector agropecuario tiene como objetivo fundamental aumentar el rendimiento por unidad de superficie sin afectar la calidad de los productos. En México, el reto es generar tecnologías de producción que se adecuen a las condiciones actuales de las diferentes regiones del país y que sean factibles de ser llevadas a la práctica por la mayoría de los productores. Por lo anterior y por la concientización sobre el cuidado del medio ambiente ante la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos, los productores agrícolas ven como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes a pesar de que los trabajos de investigación con micorrizas en hortalizas son relativamente recientes.

En los últimos años con los adelantos tecnológicos se han introducido al mercado productos con impacto a la horticultura en cuanto a la obtención de plántulas, y actualmente se están empleando los hongos micorrízicos en la producción en invernadero, siendo también cada vez mayor el número de empresas que se dedican a la elaboración de fertilizantes orgánicos, adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud humana.

#### **2.2.4. Beneficios de la interacción planta - hongo**

En esta asociación, el hongo ofrece múltiples beneficios a su huésped a cambio de recibir otro. Hay un beneficio mutuo, producto de un intercambio bidireccional “hongo-planta”. Las micorrizas en condiciones óptimas llegan a requerir de la planta hasta el 20 % de los azúcares fotosintetizados (Fernández, 2008), mientras tanto, el hongo le facilita a la planta la absorción de agua y nutrimentos que se encuentran más allá de la zona de agotamiento, es decir, recursos del suelo que en condiciones extremas la planta difícilmente obtendría de manera eficiente sin la ayuda del hongo (Montaño *et al.*, 2008).

La simbiosis micorrízica arbuscular ha demostrado el efecto benéfico de los hongos micorrízicos arbusculares en la nutrición, el crecimiento y la supervivencia de las plantas de muchas formas. Entre los beneficios que aporta esta simbiosis, en estudios recientes Díaz *et al.* (2013) reportaron que promueve el crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta; Tahat *et al.* (2010) y Shukla *et al.* (2012) le atribuyeron protección y tolerancia a patógenos del suelo; Guerra (2008) reportó que se incrementa el uso eficiente del agua, absorción de hasta el 80 % del fósforo, 25 % del nitrógeno, 10 % del potasio, 25 % del zinc y 25 % del cobre del total de dichos nutrimentos requeridos por la planta; y Rabie (2005) mencionó que incrementan la tolerancia a condiciones abióticas adversas. La inoculación micorrízica evita la erosión de los suelos favoreciendo la formación de microagregados por efecto químico y físico; combinado con enmiendas orgánicas disminuye hasta un 50 % el uso de fertilizantes químicos y permite la biorremediación de suelos (Ferrera y Alarcón, 2007), principalmente con altas concentraciones de cadmio, zinc y aluminio (Fernández, 2008).

Oseni *et al.* (2010) enfatizaron las ventajas que tiene la inoculación micorrízica en jitomate de invernadero al incrementar la nutrición mineral, el tamaño de fruto y su rendimiento; Aguirre (2006) señaló que al establecerse esta simbiosis en raíces de jitomate mejora la absorción de nutrientes del suelo, principalmente el fósforo, calcio y magnesio; Mujica *et al.* (2010) encontraron una respuesta positiva del cultivo de jitomate (*S. lycopersicum* L. var. Amalia) a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en aplicación líquida al realizar un análisis integral de todos los parámetros estudiados, permitiendo confirmar que la inoculación es efectiva para dicho cultivo en las condiciones evaluadas.

#### **2.2.5. Factores de importancia en la micorrización**

La eficiencia simbiótica depende de los microorganismos, la planta hospedera y las condiciones ambientales (Kiely *et al.*, 2006) existiendo una estrecha relación entre el suelo-planta-hongo, donde un desequilibrio o alteración en uno de estos componentes causado por factores bióticos y abióticos puede afectar negativamente la micorrización.

Entre los múltiples factores que afectan la composición de las comunidades de hongos micorrízicos arbusculares, la estructura de la comunidad de las plantas es determinante debido a su preferencia por los HMA (Kernaghan, 2005). La compatibilidad de las plantas con los HMA depende de señales específicas bioquímicas y genéticas en todas las fases de desarrollo de la simbiosis que permiten el reconocimiento, la colonización y el intercambio de nutrientes (Hause *et al.*, 2007; Kogel, 2008). La simbiosis requiere de un reconocimiento y una armonización de procesos en el espacio y en el tiempo bastante complejos (Requena *et al.*, 2007). La estructura y función de comunidades de micorrizas también puede variar con la edad de la planta, especialmente en especies perennes o semiperennes (Husband *et al.*, 2002).

Entre las prácticas culturales agrícolas que afectan las micorrizas está la fertilización, la cual merma la colonización del hongo (Latacela *et al.*, 2017). Los niveles de fertilización, principalmente de fósforo, son un factor determinante para que se dé la colonización, ya que la primer señal es dirigida por la planta al hongo por medio de exudados de la raíz, que se producen especialmente en plantas sometidas a estrés por fósforo (Paszkowski, 2006). Debido a que las micorrizas funcionan como una extensión del sistema radicular de las plantas extrayendo los nutrimentos y el agua, la simbiosis se produce con mayor eficiencia en suelos con limitaciones nutrimentales (Ferrera y Alarcón, 2007) al igual que cuando se produce en sustratos con bajas dosis de fertilización. Por el contrario, se observan bajos porcentajes de colonización en materiales saturados de fertilizantes solubles, por lo que la inhibición micorrízica debido a altos niveles de fertilización en los sustratos representa el mayor reto para los programas de manejo de micorrizas.

Las características físicas y químicas del sustrato influyen en el éxito de los programas de inoculación micorrízica. El tamaño de los poros, su distribución y su pH afectan de manera directa la formación de raíces absorbentes, por tanto, al desarrollo de micorrizas (Ruark *et al.*, 1982). Un sustrato compactado no solo inhibe la formación de raíces absorbentes, sino que también inhibe la extensión

de raíces laterales y activas. El sustrato debe proporcionar una adecuada porosidad para el intercambio de oxígeno, el cual promueve un crecimiento vigoroso tanto de las raíces, como del hongo.

El pH influye en la solubilidad del fósforo y disponibilidad de otros elementos hacia las raíces de las plantas en el suelo, incluyendo hierro, manganeso, cobre y zinc; pero la respuesta de los hongos al pH son variables, encontrándose poblaciones tanto en suelos ácidos y alcalinos. El efecto del pH puede estar relacionado con la disponibilidad de P, lo cual puede afectar la función de los HMA, aunque se considera que pueden tolerar condiciones adversas de pH por modificación de la micorrizósfera durante el proceso de asimilación de nutrientes (Sylvia *et al.*, 1993).

La temperatura tiene una acción directa sobre el porcentaje de crecimiento radical y sobre la producción de nuevas raíces. Dado que la temperatura en los diferentes sustratos puede variar ampliamente, la temperatura óptima para el crecimiento de las micorrizas varía entre 17 y 27 °C para la mayoría de estos hongos (Grageda *et al.*, 2012).

Las formaciones de hongos micorrízicos están influenciadas por la humedad del suelo y por la aireación. Se presume que el crecimiento micelar decrece a una baja concentración de oxígeno debido a que la mayoría de estos hongos micorrízicos son aeróbicos. En efecto, la formación micorrízica se inhibe en suelos arcillosos debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación (Grageda *et al.*, 2012).

En suelo, la presencia de raíces asociadas a micorrizas se detecta especialmente en el horizonte húmico. La cantidad y la calidad de humus, constituye el factor más importante en la formación de las micorrizas, por lo tanto, estas disminuyen con la profundidad, además, la aplicación de estiércol y otras fuentes de materia orgánica influyen positivamente sobre la estructura, pH, la cantidad de nutrientes y la retención de humedad en el suelo; la aplicación de fertilizantes orgánicos y materia orgánica (estiércol de bovino) incrementan la cantidad de micelios y la

esporulación de las micorrizas arbusculares en el suelo. La acidez del suelo y salinidad puede reducir drásticamente la colonización y la abundancia de esporas (Alvarado *et al.*, 2004). Todo esto influye directa o indirectamente sobre la eficiencia y el desarrollo de las micorrizas.

El nivel de eficiencia en la actividad de cepas seleccionadas puede ser mucho más alto que aquel de los hongos micorrízicos silvestres, sin menospreciar la posibilidad de que entre la variación genética natural de las poblaciones silvestres existan genotipos de micorrizas altamente eficientes; en cuyo caso lo importante sería la frecuencia de genotipos silvestres eficientes presentes en compostas y estiércol contra las inoculaciones artificiales con inoculantes (biofertilizantes) basados en cepas seleccionadas por su mayor eficiencia de la relación simbiótica planta-micorriza.

### **2.3. COMPOSTA**

Uno de los problemas más preocupantes en la actualidad es el deterioro ecológico originado entre otras cosas por la agricultura intensiva, donde el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, prácticas agrícolas mal empleadas y la fuerte dependencia de insumos agrícolas que de manera directa afecta y reduce la materia orgánica, ha provocado el agotamiento de los suelos agrícolas, la contaminación de los mantos freáticos y de la atmosfera.

Ortiz y Amado (2003) mencionan que en México, el contenido de materia orgánica en los suelos es bajo, lo cual afecta su productividad. En las últimas décadas se ha tomado conciencia del agotamiento de los recursos naturales debido a la explotación desmesurada de los mismos siendo necesario implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos con tendencia hacia una agricultura sostenible (Grageda *et al.*, 2012).

Los abonos orgánicos constituyen una de las alternativas utilizadas en la agricultura sustentable, fundamentalmente aquellos que se obtienen a partir de fuentes orgánicas de carácter reciclable (Luna *et al.*, 2015). Dentro de los sustratos orgánicos empleados en la agricultura sobresale el uso de compostas

(Lamas *et al.*, 2003), debido a que ayuda a mejorar la asimilación de los nutrientes ya sea presentes en el suelo o aplicados como fertilizantes; y contribuye a corregir preferentemente deficiencias de N y P del suelo (Shah, 2011). La composta se origina de un proceso biológico de descomposición que transforma los desechos orgánicos de distintos materiales en un producto relativamente estable e higienizado aplicable como abono o sustrato (Claassen & Carey 2004) al pasar por un proceso de biooxidación a través de una etapa termofílica (45 a 65 °C) en donde intervienen la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas; esta técnica además de recuperar la energía de desechos orgánicos, permite disponer de nutrientes suficientes para la planta (Martínez, 2013).

### **2.3.1. Beneficios de la aplicación de composta**

La composta posee un importante contenido de materia orgánica y nutrientes, pudiendo ser aprovechado como un abono orgánico o como sustrato (Martínez, 2013), estos materiales representan una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y sustituir total o parcialmente el uso de fertilizantes inorgánicos (Rippy *et al.*, 2004). Se considera que el contenido de nutrientes varía dependiendo del material empleado para su elaboración y la disponibilidad de los nutrientes dependerá del grado de madurez de la composta (Nieto *et al.*, 2001).

El uso de composta en la agricultura es una alternativa para la producción de cultivos al contener sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento y aportar múltiples beneficios al suelo (Martínez, 2013), tales como incremento en la capacidad de intercambio catiónico, alto contenido de materia orgánica, incrementa la capacidad de retención y almacenamiento de agua, mineralización del nitrógeno, fósforo y potasio (Parra *et al.*, 2014), mantiene valores de pH óptimos para el crecimiento de las plantas, fomenta la actividad microbiana (Cruz *et al.*, 2010) favoreciendo el desarrollo vegetal (Shah, 2011), además, con el uso de compostas se reduce significativamente el uso de fertilizantes químicos, lo cual mejora las características de los vegetales



consumidos y disminuye los niveles de contaminación ambiental (Rodríguez *et al.*, 2009).

Dichos productos orgánicos han incrementado su uso en gran variedad de cultivos pronunciándose como posible sustituto o complemento de los fertilizantes químicos (Durán y Henríquez, 2010). Según Raviv *et al.* (2005), la composta puede satisfacer los requerimientos nutrimentales del cultivo de tomate durante los primeros meses después del trasplante y Chang *et al.* (2007) mencionaron que las dosis de aplicación óptimas son alrededor de 540 kg ha<sup>-1</sup> anuales, no obteniendo mejores rendimientos para dosis superiores.

### **2.3.2. Relación micorriza - composta**

Existen reportes del efecto positivo de las micorrizas en conjunto con composta, estiércol o residuo de cosecha, ya que incrementa el potencial del inóculo en el suelo, la colonización y la absorción de nutrientes (Singh *et al.*, 2013). Sin embargo, pocas investigaciones en México han evaluado su efecto en especies de interés hortícola, aunque es de esperarse que el enriquecimiento de compostas con las cepas micorrízicas seleccionadas de los biofertilizantes, sea factible y una posibilidad aprovechable.

En este sentido, el uso de altos niveles de materia orgánica podría actuar como inhibidor del efecto benéfico de la simbiosis, por lo anterior, es recomendable utilizar dosis mínimas, de modo que se establezca un efecto sinérgico entre materia orgánica y hongos micorrízicos (Shah, 2011).

## 2.4. LITERATURA CITADA

- Aguado S. G. A., Rascón C. Q. y Luna B. A. (2012). Impacto Económico y Ambiental del Empleo de Fertilizantes Químicos. In Aguado S. G. A. (Ed.), *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*, (pp. 1-22). INIFAP/SAGARPA. México.
- Aguilera G. L. I., Olalde P. V., Arriaga M. R. y Contreras A. R. (2007). Micorrizas Arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14 (3): 300-306. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414307>
- Aguirre M. J. F. (2006). Biofertilizantes microbianos: experiencias agronómicas del Programa Nacional del INIFAP en México. Libro técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chis., México.
- Alcántar G. G., Trejo T. L., Fernández P. L., Rodríguez M. M. (2009). Elementos esenciales. In Alcántar G. G. y Trejo T. L. (Eds), *Nutrición de cultivos*. (pp. 8-47). Mundi-Prensa. México.
- Alvarado A., Chavarría M., Guerrero R., Boniche J. y Navarro J. R. (2004). Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28 (1): 89-100.
- Anza M. y Riga P. (2007). Efecto de la variedad y de la época de cultivo en la calidad organoléptica y nutricional del tomate. XI Congreso SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas). *Actas de Horticultura*, 48: 209-212.
- Ávila P. O., Mendoza V. R., Valdez A. L. A., Rodríguez C. E. M., Hernández P. A. y Cárdenas F. A. (2015). Crecimiento y estado nutrimental de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Publicación Especial, 12: 2409-2422.
- Blancard Dominique. (2011). Enfermedades del tomate. México. Mundi-Prensa.
- Bombelli C. E. y Wright E. R. (2006). Tomato fruit quality conservation during post-harvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinérea*. *Ciencias de Investigación Agrícola*, 33 (3): 197-203.
- Caicedo O. O. y Galvis V. J. A. (2012). Comportamiento de ácido cítrico, ascórbico y málico en tomate frente a tres sistemas de conservación. *Investigación en Ingeniería*, 9 (1): 7-13.
- Candelas C. M. G., Alanís G. M. G. de J. y Del Río O. F. (2006). Cuantificación de licopeno y otros carotenoides en tomate y polvo de Tomate. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 10 (19): 1-12.

- Candelas C. M. G., Alanís G. M. G. de J., Bautista J. M., Del Río O. F y García D. C. (2005). Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 4(3): 299-307.
- Carrari F. and Fernier A. R. (2006). Metabolic regulation underlying tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*, 57(9): 1883–1897.
- Casanova A. S., Gómez O., Laterrol H. y Anais G. (2007). Manual para la producción protegida de hortalizas. La Habana, Cuba. Agroinfor, minag. <http://dx.doi:10.1093/jxb/erj020>
- Castellanos R. J. Z. y Ojodeagua. J. L. (2009b). Manejo de la fertirrigación del tomate en suelo. In Castellanos J. Z. (Ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero*, (pp. 187–204). México. INTAGRI.
- Castellanos R. J. Z. y Ojodeagua. J. L. (2009a). Formulación de la solución nutritiva. In Castellanos J. Z. (Ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero*, (pp. 131-156). México. INTAGRI.
- Castelo G. A., Gutiérrez C. M., Arellano G. M., Castro E. L., Lares V. F. y Figuera L. P. (2014). Calidad postcosecha y rendimiento de tomate cv. Grandella bajo un sistema de producción orgánico y convencional en condiciones de casa sombra. División III, Aprovechamiento del Recurso Suelo. In *Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. (pp.15-20).
- Cédola C. C. & Grecob N. (2010). Presence of the aphid, *Chaetosiphon fragaefolii*, on strawberry in Argentina. *Journal of Insect Science*, 10(9) <http://dx.doi:10.1673/031.010.0901>
- Chaib, J., Devaux M. F., Grotte M. G., Robini K., Causse M., Lahaye M. and Marty I. (2007). Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*, 58(8): 1915–1925. <http://dx.doi:10.1093/jxb/erm046>
- Chang E. H., Chung R. S., & Tsai Y. H. (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2): 132–140. <http://dx.doi:10.1111/j.1747-0765.2007.00122.x>
- Claassen V. P. & Carey J. L. (2004). Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Science & Utilization*, 12(2):145-152. <http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702173>
- Contreras G. M. I., Astorga C. K. R. y Rivera D. M. (2013). Evaluación de dos métodos de secado de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para la conservación del material genético. In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds), *1er Congreso*

- Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria. (pp. 109-116). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.
- Cooman A., Torres C. y Fischer G. (2005). Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1): 74-82.
- Crisanto J. A. U., Vera G. A. M., Chávez S. J. L. y Carrillo R. J. C. (2010). Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33 (Núm. Especial 4): 7-13.
- Cruz B. R. M., González G. J. y Sánchez C. P. (2013). Propiedades funcionales y beneficios para la salud del licopeno. *Nutrición Hospitalaria*, 28 (1): 6-15.
- Cruz E. Osorio R., Martínez E., Lozano del Río J., Gómez A. y Sánchez R. (2010). Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*, 35 (5):363-368.
- Cué G. J. L. y Torres G. A. (2014). Valoración agroecológica de las micorrizas vesículo - arbusculares. *Revista Avances*, 6 (4): 349-360.
- De Freitas S. T., Shackel K. A. and Mitcham E. J. (2011). Absciscic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit. *Journal of experimental Botany*, 62(8): 2645-2654. <http://dx.doi:10.1093/jxb/erq430>
- Díaz F. A., Salinas G. J. R., Valadez G. J., Cortinas E. H. M., Loredó O. C., Pecina Q. V... y González G. D. (2012). Impacto de la Biofertilización del Maíz en el Norte de México. Folleto Técnico No. MX-0-310301-25-03-13-09-54. ISBN: 978-607-425-838-7.
- Díaz M. O., Gurrola R. J. N., Pérez S. G. y Díaz M. J. (2013). Biofertilizantes en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Vid supra*, 5 (1): 44-49.
- Durán L. y Henríquez C. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en la planta. *Agronomía Mesoamericana*, 21 (1):85-93.
- Durán R. F. (2009). Manual de la uchuva. Bogotá, Colombia. Grupo Latino.
- Espinoza G. R. (2010). El uso de microelementos en la producción de tomates. In Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (ed.), *Producción de tomate en el norte de México*. (pp. 100-115).
- Fernández R. (2008). Las micorrizas: desenterrando un tesoro. *Agricultura Orgánica*, 1: 22-25.
- Ferrera C. R. y Alarcón A. (2007). Biotecnología de los hongos micorrízicos arbusculares. In Díaz F. A. y Mayek P. N. (Eds.), *La biofertilización como tecnología sostenible*. (pp. 25). México. Plaza y Valdez.

- Ferrera, R. y Pérez, J. (1995). Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. p. 48-49.
- Financiera Rural. (2009). Monografía del tomate rojo. Financiera rural: Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial 3.
- Galvis V. J. A., Morales M., Cleidy A., Suárez A. y Neidy M. (2012). Cambio de color y contenido de ácidos durante el almacenamiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*) variedad larga vida, mínimamente procesado. *Vitae*, 19(1): S111-S113. Disponible en <http://redalyc.org/articulo.oa?id=169823914029>.
- Garate A. y Bonilla L. (2008). Nutrición mineral y producción vegetal. In Azcón Bieto J. y Talon M. (Eds.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. (pp. 143-164). Madrid, España. McGraw-Hill Interamericana.
- Garay P. I., Díaz C. A., Adame G. J., Castrejón S. B., Díaz R. M. A. y Perdomo C. J. (2013). Producción de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) con abonos orgánicos y micorrizas bajo condiciones semicontroladas. In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds.), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (pp. 184-190). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.
- Garza A. M. y Molina V. M. (2008). Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León. México. SAGARPA.
- Garza U. E. y Rivas M. A. (2003). Manejo integrado de las plagas de chile y jitomate en la zona media de San Luis Potosí. INIFAP-CIRNE. Folleto para Productores Núm. 5. San Luis Potosí, México.
- Gastelum O. D. A. (2012). Demanda nutrimental y manejo agronómico del cultivo *Physalis peruvianum* L. (Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.).
- Gil V. I. y Suazo L. F. (2014). El cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicon* L.). In *Manejo de Cultivos Hidropónicos en Invernadero*. Serie de Publicaciones AGRIBOT. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp.155.187.
- Gómez M. I. (2006). Manual técnico de fertilización de cultivos. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U Limitada.
- Gómez, P. A. y López A. F. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1): 38-43. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362002000100007>

- Goykovic C. V. y Saavedra del Real G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del jitomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 25 (3): 47-58.
- Grageda C. O. A., Díaz F. A., Peña C. J. J. y Vera N. J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias agrícolas*, 3 (6): 1261-1274.
- Guerra S. B. E. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 21 (1): 191-201.
- Harris-Valle C., Esqueda M., Valenzuela S. E. M., Castellanos A. E. (2009). Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32 (4): 265-271. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61011789002>
- Hause B., Mrosk C., Isayenkov S., & Strack D. (2007). Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochemistry*, 68 (1): 101-110.
- Hernández B. A., Lobato O. R., Cruz I. S., García Z. J. y Chávez S. J. L. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruce interespecífica de jitomate. *Interciencia*, 39 (5): 327-332.
- Hernández S. y Fortis A. (2010). Agricultura orgánica. Durango, México. Universidad Juárez del estado de Durango.
- Hernández S. M., Rodríguez R. E. M., & Díaz R. C. (2008). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry*, 106 (3): 1046-1056.
- Husband R., Herre E. A., y Young J. P. (2002). Temporal variation in the arbuscular mycorrhizal communities colonising seedlings in a tropical forest. *FEMS Microbiology Ecology*, 42 (1): 131-136. <http://dx.doi:10.1111/j.1574-6941.2002.tb01002.x>.
- Jaramillo N. J., Rodríguez V. P., Guzmán A. M., Zapata M. y Rengifo M. T. (2007). Manual técnico: Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. Medellín, Colombia. CORPOICA.
- Kernaghan G. (2005). Mycorrhizal diversity: Cause and effect. *Pedobiologia*. 49 (1): 511-520. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.05.007>
- Kiely P. D., Haynes J. M., Higgins C. H., Franks A., Mark G. L., Morrissey J. P. and O'Gara F. (2006). Exploiting new systems-based strategies to elucidate plant-bacterial interactions in the rhizosphere. *Microbial Ecology*, 51: 257-266. <http://dx.doi:10.1007/s00248-006-9019-yy>

- Kogel, K. H. (2008). Compatible host–microbe interactions: mechanistic studies enabling future agronomical solutions. *Journal of Plant Physiology*, 165 (1): 1-4. <http://dx.doi:10.1016/j.jplph.2007.08.007>
- Lamas N. M. A., Neri F. O., Sánchez R. G., Galaviz R. R. (2003). Agricultura Orgánica: Una oportunidad sustentable de negocios para el sector agroalimentario mexicano. *FIRA Boletín Informativo*, 332(XXXV).
- Latacela C. W., Colina N. E., Castro A. C., Santana A. D., León P. J., García V. G... y Vera S. M. (2017). Efectos de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre población de micorrizas asociadas al cultivo de cacao. *European Scientific Journal*, 13(6): 464-479. <http://dx.doi:10.19044/esj.2017.v13n6p464>
- Lecomte L., Saliba-Colombani V., Gautier A., Gómez J. M. C., Duffé P., Buret M. y Causse M. (2004). Fine mapping of QTLs of chromosome 2 affecting the fruit architecture and composition of tomato. *Molecular Breeding*, 13(1): 1-14. <http://dx.doi:10.1023/B:MOLB.0000012325.77844.0c>
- León J. y Viterio P. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol. Ecuador. Promsa.
- López T. M. (2011). Horticultura (3a ed.). México. Trillas.
- Luna M. R. A., Reyes P. J. J., López B. R. J., Reyes B. M., Murillo C. G., Samaniego A. C... y Travéz T. R. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola*, 42(4): 67-74. Disponible en <http://cagricola.uclv.edu.cu/>
- Márquez H. C., Cano C. P., García H. J. L., Rodríguez D. N., Preciado R. P., Moreno R. A... y E. de la C. Lázaro. (2010). Agricultura Orgánica: El Caso de México. In García H. J. L., Salazar S. E., Orona C. I., Fortis H. M. y Trejo E. H. I. (Eds.), *Agricultura Orgánica* (pp. 2-28). Durango, México. ISBN 978-607-00-3411-4.
- Martínez F. E., Sarmiento J., Fischer G. y Jiménez F. (2009). Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana*, 27(2): 169-178. Disponible en <http://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/>.
- Martínez T. E. (2013). Inoculación de calabacita verdura con cepas de hongos micorrízicos arbusculares (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo).
- Mendoza Z. C. (2007). Enfermedades fungosas de hortalizas y fresa. In Anaya R. S. y Romero N. J. (Eds.), *Hortalizas: plagas y enfermedades* (pp. 25). México. Trillas.
- Mengel K., Kirkby E. A., Kosegarten H. y Appel T. (2001). Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.



- Modjo H., Hendrix J., Jhonson W. & Rossi G. (2006). The mycorrhizal fungus *Glomus macrocarpum* as a cause of tobacco stunt disease. *Phytopathology*. Recuperado de <http://search-pdfbooks.com/mycorrhizalfungus>
- Montaño A. N. M., Camargo R. S. R., García S. L. y Monroy A. A. (2008). Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. México. Mundi-Prensa.
- Morales G. J. (2013). Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annum* L.) cv “Cannon” obtenido mediante biofertilización. (Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, México).
- Morales P. J. (2006). Manejo de cultivos: cultivo de tomate. In Bastida, T. A. (Ed.), *Manejo y operación de invernaderos agrícolas* (pp. 183-190). UACH. AGRIBOT.
- Moreno G. B. (2012). La rizósfera y las relaciones entre las plantas y los microorganismos. In Aguado S. G. A. (Ed.), *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura* (pp. 23-33). México. INIFAP/SAGARPA.
- Muchovej, R. M., (2004). Mycorrhizae are necessary elements for healthy vegetable crops. American Vegetable Grower.
- Mujica P. J., De la Noval B. y Dell’Amico R. J. (2010). Respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de dos inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares por vías diferentes de inoculación. *Agronomía Tropical*, 60(4): 381-387.
- Muñoz R. J. de J. (2004). El cultivo de tomate en invernadero. In Castellanos J. Z. (Ed), *Manual de producción de tomate en invernadero* (pp. 231-256). México. INTAGRI.
- Muñoz R. J. de J. (2009). Manejo del cultivo de tomate en invernadero. In Castellanos J. Z. (Ed.), *Manual de producción de tomate en invernadero* (pp. 45–91). México. INTAGRI.
- Negrete Y. S., Maldonado M. I. E., Lázaro C. J. O., Sangabriel C. W. y Martínez Á. J. C. (2013). Arbuscular mycorrhizal root colonization and soil P availability are positively related to agrobiodiversity in mexican maize polycultures. *Biology and Fertility of Soils*, 49(2): 201-212.
- Nelson J. C. y Nelson J. M. A. (2015). Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. *Cultivos Tropicales*, 36 (1): 55-64.
- Nieto G. A., Murillo A. B., Troyo D. J., Larrinaga M. J. A. y García H. J. L. (2001). La composta importancia, elaboración y uso agrícola. Publicación de Transferencia y Divulgación N0. 8. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.



- Nieto G. A., Murillo A. B., Troyo D. E., Larrinaga M. J. Á. y García H. J. L. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*, 27 (8): 417-421.
- Nuez F. (2001). El Cultivo de Tomate. Bilbao, España. Mundi- Prensa.
- Nuño M. R. (2007). Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el Valle de Mexicali, Baja California. México. Fundación PRODUCE.
- Oliver A. M. (2009). Efectos fisiológicos de las sustancias húmicas sobre los mecanismos de toma de hierro en plántulas de tomate. (Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, San Vicente de Raspeig. España).
- Ortega A. L. D. (2007). Mosquita blanca, vectora de virus en hortalizas. In Anaya R. S y Romero N. J. (Eds.), *Hortalizas: Plagas y Enfermedades* (pp. 149-176). México. Trillas. ISBN: 978-968-24-1283-7.
- Ortiz F. P y Amado, J. P. (2003). Uso de biofertilizantes en avena de temporal en la sierra de Chihuahua. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C*, 174-191.
- Oseni T. O., Shongwe N. S. and Masarirambi M. T. (2010). Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) Inoculation on the Performance of Tomato Nursery Seedlings in Vermiculite. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(5): 789-792.
- Pajarito R. A. (2012). Uso de biofertilizantes en la producción de frijol en el estado de Durango. Libro Técnico No. 6. Durango, México. INIFAP.
- Parra D. J. M., Velázquez A. T. de J., Quero G. E., Partida R. L., Díaz V. T., Galván P. B. y Ayala T. F. (2014). Uso de Composta, Minerales Primarios Amorfos y Microorganismos para la Producción y Calidad de Jitomate. *Intropica*, 9(1): 102-110.
- Parra G. M. A., Lobato O. R., García Z. J. J., Reyes L. D. y Velasco A. M. J. (2016). Evaluación de líneas de una cruce interespecífica de tomate. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 39 (1): 59–65.
- Paszkowski U. (2006). Mutualism and parasitism: the yin and yang of plant symbioses. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(4): 364–370. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2006.05.008>
- Pérez G. M. y Castro B. R. (2011). Jitomate en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco. Edo. de México.
- Peyronel B., Fassi B., Fontana A. & Trappe J. M. (1969). Terminology of Mycorrhizae. *Mycology*, 61(2): 410-411. <http://dx.doi:10.2307/3757138>

- Rabie G. H. (2005). Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater. *Mycorrhiza*, 15 (3): 225-230. <http://dx.doi:10.1007/s00572-004-0345-y>
- Ramírez G. M. y Rodríguez A. (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1): 53-60.
- Raviv M., Oka Y., Katan J., Hadar Y., Yogev A., Medina S.,... & Ziadna H. (2005). High-nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresource Technology*, 96 (4): 419-427. <http://dx.doi:10.1016/j.biortech.2004.06.001>
- Requena N., Serrano E., Ocoín A. and Breuninger M. (2007). Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*, 68(1): 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.09.036>
- Rippy J. F. M., Peet M. M., Louis F. J. & Nelson P. V. (2004). Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hortscience*, 39 (2):223- 229.
- Rodríguez D. N., Cano R. P., Figueroa V. U., Favela C. E., Moreno R. A., Márquez H. C.,... y Preciado R. P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(9): 319-327.
- Rodríguez F. H., Muñoz L. S. y Alcorta G. E. (2006). El tomate rojo. Sistema hidropónico. (2ª ed.). Trillas. ISBN 9786071727619.
- Rosales V. M. A. (2008). Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas (Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España).
- Sánchez C. I. (2009). Análisis de la estructura y diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas asociados a plantas de interés ecológico en ambientes mediterráneos. (Tesis Doctoral, Universidad de Granada, Granada, España). Disponible en <https://hera.ugr.es/tesisugr/18131360.pdf>
- Sánchez G. P., Molinos da Silva C., Alcántar G. G. y Sandoval V. M. (2009). Diagnóstico nutrimental en plantas. In Alcántar G. G. y Trejo T. L. (Eds.), *Nutrición de cultivos* (pp. 202-247). México. Mundi-Prensa.
- Selvaraj T., & Chelleppan P. (2006). Arbuscular mycorrhizae: a diverse personality. *Journal of Central European Agriculture*, 7(2):349–358.
- Shah G. H. (2011). Hongos endomicorrízicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, estado de México).

- Shukla A., Kumar A., Jha A., Ajit. & Nageswara R. D. V. (2012). Phosphorus threshold for arbuscular mycorrhizal colonization of crops and tree seedling. *Biology and Fertility of Soils*, 48(1): 109-116. <http://dx.doi:10.1007/s00374-011-0576-y>
- Singh P. G. y Goyal G. K. (2008). Dietary Lycopene: Its Properties and Anticarcinogenic Effects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(3): 255-270. <http://dx.doi:10.1111/j.1541-4337.2008.00044.x>
- Singh R., Soni S. K. and Kalra A. (2013). Synergy between *Glomus fasciculatum* and a beneficial *Pseudomonas* in reducing root diseases and improving yield and forskolin content in *Coleus forskohlii* Brinq, under organic field conditions. *Mycorrhiza*, 23(1): 35- 44. <http://dx.doi:10.1007/s00572-012-0447-x>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Anuario Estadístico de la producción Agrícola. (Consultado en noviembre, 2016).
- Smith S. E. & Smith F. A. (2012). Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*, 104(1):1-3.
- Smith S. E. and Read D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3<sup>a</sup> ed.). Cambridge, Inglaterra. Academia Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50007-6>
- Sylvia D. M., Hammond L.C., Bennett J. M., Haas J. H. and Linda S. B. (1993). Field Response of Maize to a VAM Fungus and Water Management. *Agronomy Journal*, 85(2):193-198. <http://dx.doi:10.2134/agronj1993.00021962008500020006x>
- Tahat M. M., Kamaruzaman, Sijam, and Othman R. (2010). Mycorrhizal Fungi as a Biocontrol Agent. *Plant Pathology Journal*, 9 (4): 198-207. <http://dx.doi:10.3923/ppj.2010.198.207>
- Turk M. A., Assaf T. A., Hammed K. M. and Al-Tawaha A. A. (2006). Significance of mycorrhizae. *World Journal of Agricultural Science*, 2(1): 16–20.
- Valdés F. (2006). Vitamina C. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 9(9): 557-568.
- Van Der Blom J. (2005). Control biológico en cultivos hortícolas bajo abrigo. *Tecnología de Producción*, 189:10-16.
- Velasco H. E., Nieto Á. R. y Navarro L. E. (2011). Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero (3<sup>a</sup> ed). México. Mundi-Prensa.
- Waliszewski K. N. y Blasco G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *Salud Pública de México*, 52(3): 254-261.
- West B., Brandt J., Holstien K., Hill A. and Hill M. (2009). Fern-associated arbuscular mycorrhizal fungi are represented by multiple *Glomus* ssp.: do environmental factors influence partner identity?. *Mycorrhiza*, 19(5): 295-304. <http://dx.doi:10.1007/s00572-009-0234-5>

Yescas C. P., Orozco V. J. A., Frías R. J. E., García L. G., Segura C. M. A., Montemayor T. J. A. y López L. S. (2013). Acumulación y distribución de biomasa en tomate con fertilización orgánica bajo invernadero In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds.), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (pp. 184-190). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.

Yeung D. (2001). Lycopene: The facts. [www.lycopene.org](http://www.lycopene.org)

### 3. RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE JITOMATE HIDROPÓNICO INOCULADO CON MICORRIZAS, PRODUCIDO EN INVERNADERO

#### YIELD OF VARIETIES OF HYDROPONIC TOMATO INOCULATED WITH MICORIZES, PRODUCED IN GREENHOUSE

##### RESUMEN

El efecto de los sistemas de producción en macetas (SP1) y en camas (SP2); y los inoculantes micorrízicos Hortic Plus® y BioKomplet®, más un testigo sin inocular, fueron estudiados en jitomate variedad El Cid y Cedral. El diseño experimental fue completamente al azar en arreglo factorial 2x3 (Sistemas de producción: SP1 y SP2 x Inoculantes: Hortic Plus, BioKomplet, testigo sin inocular) con cuatro repeticiones. El experimento se estableció en invernadero de marzo a noviembre de 2014. El SP1 utilizó bolsas de polietileno negro 40x40 cm, con tezontle adicionando 450 g de composta en la zona del cepellón de la plántula. El SP2 fue camas con profundidad de 30 cm (de abajo hacia arriba: 20 cm de tezontle + 5 cm de composta y una tercer capa de 5 cm de tezontle) acolchadas con plástico blanco y se inoculó al trasplante. Se aplicó la solución nutritiva Steiner al 75 % y se realizaron tres aplicaciones foliares con Bayfolan®. Se evaluó rendimiento total acumulado (kg) durante 10 cortes (RTA), número total de frutos (NTF), y rendimiento por categoría de calidad 8, 7, 6, y 5 (RAC8, RAC7, RAC6, RAC5) para jitomate saladette; y categoría extra grande, grande, mediano y chico (EG, GDE, MED y CH) para jitomate bola. También se evaluó porcentaje de colonización en raíz (COL). De acuerdo con el análisis de varianza, en jitomate saladette hubo diferencias entre sistemas de producción para las variables estudiadas, el efecto de ambos inoculantes fue estadísticamente igual ( $P \leq 0.05$ ), excepto para RTA y RAC5. En jitomate bola hubo diferencias entre sistemas de producción excepto para frutos tamaño EG y COL. El efecto de la inoculación fue positiva para RTA y NTF.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., rendimiento, biofertilizantes, composta

### 3. YIELD OF VARIETIES OF HYDROPONIC TOMATO INOCULATED WITH MICORIZES, PRODUCED IN GREENHOUSE

#### SUMARY

The effect of production systems in pots (PS1) and bed (PS2); and the mycorrhizal inoculants Hortic Plus® and BioKomplet®, plus an uninoculated control, were studied in tomato varieties El Cid and Cedral. The experimental design was completely randomized in factorial arrangement 2x3 (production systems: PS1 and PS2 x inoculants: Hortic Plus, BioKomplet, uninoculated control) with 4 replications. The experiment was established in greenhouse from March to November 2014. PS1 used bags of 40x40 cm black polyethylene, with tezontle adding 450 g of compost around the rootlet of the seedling. The PS2 beds with depth of 30 cm (Bottom up: 20 cm of tezontle + 5 cm of compost and a third layer of 5 cm of tezontle), padded with white plastic and inoculated to the trasplanting. The nutrient solution Steiner was applied to 75% and three foliar applications whit Bayfolan®. The accumulated yield (kg) during 10 cuts (AY), number of accumulated fruits (NAF), and yield by quality category 8, 7, 6 and 5 (YQ8, YQC7, YQ6, YQ5) were evaluated for saladette tomato; and category extra large, large, medium and small (EL, L, MED and S) for beef tomato. The percentage of root colonization (COL) was also evaluated. According to the analysis of variance, in saladette tomato there were differences between production systems for the variables studied, the effect of both inoculants was statistically the same ( $P \leq 0.05$ ), except for AY and YQ5. In beef tomato there were differences between production systems except for fruits size EL and COL. The effect of inoculation was positive for AY and NAF.

**Index Word:** *Solanum lycopersicum* L., yield, biofertilizers, compost.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

El jitomate o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas (solanáceas) cultivadas en México y el mundo (Parra *et al.*, 2016) y ocupa la mayor superficie sembrada a nivel mundial (Hernández *et al.*, 2014). Por su potencial alimenticio ocupa un lugar importante en el consumo per cápita como parte sustancial en la dieta diaria familiar, consumiéndose tanto en fresco como procesado por ser rico en proteínas, minerales y fibra, además de sus excelentes cualidades gustativas (Casanova *et al.*, 2007). García *et al.* (2004) reportan al jitomate como la principal fuente de licopeno (71.6 %), segunda fuente de vitamina C (12 %), provitamina A (14.6 %) y  $\beta$ -caroteno y la tercera fuente de vitamina E (6 %), representa una fuente de potasio, es bajo en grasas, calorías y libre de colesterol (Bombelli & Wright, 2006), presenta una alta actividad biológica y antioxidante, que le confieren capacidad anticancerígena y preventiva de enfermedades cardiovasculares (Ramírez *et al.*, 2004), de ahí su alto valor nutritivo apreciado universalmente.

La producción hortícola constituye el 30 % de la producción mundial (Luna *et al.*, 2015), siendo el cultivo del jitomate muy relevante para la economía de México. En el 2015 se reportó una superficie sembrada de aproximadamente 45 000 hectáreas con una producción nacional de 2.9 millones de toneladas (SIAP, 2015). El jitomate es sin duda, una de las principales hortalizas gracias a la cual México ha desarrollado la industria de hortalizas, tanto para abastecer el mercado nacional como el de exportación, principalmente Estados Unidos y Canadá. Los principales estados productores son Sinaloa, que en 2015 tuvo una producción de 849,300 toneladas, equivalentes al 28.8 % de la producción nacional, seguido de Baja California con 356, 937 toneladas, San Luis Potosí con 221, 500, Michoacán con una producción de 167,430 y Jalisco con un aporte de 161, 257 toneladas (SIAP, 2015).

El incremento de los rendimientos en los distintos sistemas de producción de cultivos y en jitomate, es necesaria la utilización de variedades, fertilizantes y pesticidas. El uso irracional fertilizantes y pesticidas se refleja en un incremento

significativo de los costos de producción que van del 10 al 25 %) (Salgado y Núñez, 2012), aunado a problemas de contaminación de agua, suelo y de un desequilibrio en las funciones de los microorganismos rizosféricos que están involucrados en el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas, lo cual, puede poner en riesgo una productividad sostenible.

El deterioro ecológico originado por la agricultura es evidente en México (Santillana, 2006); dentro de las principales causas están el manejo inadecuado de los recursos naturales, excesivo uso de agroquímicos, prácticas agrícolas mal empleadas y fuerte dependencia de insumos externos. Esto hace necesario implementar técnicas de producción agrícola enfocadas al uso eficiente de los recursos con tendencia hacia una agricultura sostenible.

La composta utilizada como sustrato permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero y reducir el uso de fertilizantes sintéticos; Rodríguez *et al.* (2007) mencionan que contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico, tienen alto contenido de ácidos húmicos, y aumentan la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación y drenaje.

Actualmente el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; es así como la agricultura moderna ha ido incrementando el uso de microorganismos benéficos (Guerra, 2008), en este sentido, la aplicación de abonos orgánicos, la biofertilización y microorganismos fijadores de nitrógeno representan alternativas que coadyuvan a la sostenibilidad del sistema agrícola que de manera conjunta promueve la sanidad de los cultivos y reduce la utilización de productos químicos (Díaz *et al.*, 2012).

Garzón (2016) mencionó que el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; es así como en la agricultura se ha incrementado paulatinamente el uso de microorganismos benéficos; por su parte, Armenta *et al.* (2010) los definen como microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de reducir la fertilización



química, y por consiguiente disminuir la contaminación por agroquímicos; y Pajarito (2012) los detalla como productos que contienen microorganismos que se aplican a la semilla o suelo y se asocian con la raíz de la planta favoreciendo su desarrollo. En este contexto, los hongos micorrízicos representan un grupo de microorganismos edáficos que establecen simbiosis con las raíces de las plantas influyendo positivamente en su crecimiento y desarrollo (Mujica *et al.*, 2010), de esta forma, la extensión del micelio permite un mayor volumen de exploración en el sustrato, favoreciendo la absorción de nutrimentos para la planta (Pérez y Castro, 2011).

La simbiosis planta-hongo ha incrementado su interés como insumo microbiológico en la agricultura moderna, pues promueve el crecimiento y mejora la nutrición mineral de la planta (Díaz *et al.*, 2013), además proporciona otros beneficios como protección a la raíz y tolerancia a patógenos del suelo (Tahat *et al.*, 2010), uso eficiente del agua, favorece la absorción de hasta el 80 % del fósforo (Guerra, 2008), 25 % del nitrógeno, 10 % del potasio, 25 % del zinc y 25 % del cobre del total de dichos nutrimentos requeridos por la planta; recursos del suelo que en condiciones extremas la planta difícilmente obtendría eficientemente sin la ayuda de las hifas formadas por el hongo (Montaño *et al.*, 2008). Estos también incrementan la nodulación y la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico en las leguminosas (Turk *et al.*, 2006).

Desgan *et al.* (2008) y Oseni *et al.* (2010) enfatizaron las ventajas que tiene la inoculación micorrízica en jitomate de invernadero al incrementar la nutrición mineral, el tamaño de fruto y su rendimiento, por lo que Oseni *et al.* (2010) y Alvarado *et al.* (2014) afirman que la inoculación micorrízica representa una práctica que debe ser incorporada en sistemas de producción hortícola en agricultura protegida.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inoculación con hongos micorrízicos en el rendimiento de dos variedades de jitomate hidropónico cultivado en dos sistemas de producción en condiciones de invernadero, con la

finalidad de proyectar nuevas estrategias de producción sustentable con el medio ambiente.

### **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.2.1. Sitio experimental**

El experimento se estableció en un invernadero con cubierta de plástico de doble apertura cenital situado en el Campo Agrícola Experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 2,250 msnm y en las coordenadas geográficas 19° 29´ de latitud Norte y 98° 53´ de longitud Oeste.

#### **3.2.2. Variedades de jitomate evaluadas**

Se estudiaron dos variedades de jitomate: El Cid y Cedral, tipo saladette y tipo bola, respectivamente.

La variedad El Cid, tipo saladette de la empresa Harris Moran, se caracteriza por plantas vigorosas y de alta adaptabilidad, crecimiento indeterminado, producción precoz, frutos extra grandes y grandes ovals cuadrados, color rojo intenso y con prolongada vida de anaquel.

La variedad Cedral, tipo bola de la empresa Zeraim/Syngenta, es un material de crecimiento indeterminado con excelente vigor, precocidad mediana y con excelente firmeza favoreciendo así su periodo de vida en anaquel.

#### **3.2.3. Productos inoculantes**

En ambas variedades se evaluaron dos inoculantes micorrízicos de marcas comerciales. La ficha técnica de cada uno de los biofertilizantes evaluados es:

##### **HORTIC PLUS (PHC®)**

Es un inoculante formulado con esporas de cuatro cepas seleccionadas de hongos micorrízicos vesículo arbusculares (MVA). Las cepas de *Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*, fueron cuidadosamente seleccionadas por su resistencia a condiciones de sequía y

concentraciones elevadas de fósforo y tienen como característica una alta infectividad y rápida colonización en un amplio rango de especies vegetales. En su producción se asegura retener la diversidad genética y el vigor de las cepas. Hortic Plus® PHC® está formulado con elementos esenciales como nitrógeno (3 %), fósforo (4 %), potasio (3 %) y ácidos húmicos (22 %), bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras del crecimiento radical: *Bacillus licheniformis*, *B. megaterium*, *B. polymyxa*, *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans*. PHC® Hortic Plus® está formulado con una cantidad de  $1.8 \times 10^7$  unidades formadoras de colonias de cada bacteria benéfica y aproximadamente 7,268 esporas por kg de producto.

### **BIOKOMPLET SH (AgriBest®)**

Es un complejo de biofertilizante y de bioprotección a base de un complejo de hongos micorrízicos, rizobacterias y hongos entomopatógenos que, al inocular la semilla estimulan la germinación, emergencia, protegen a las plántulas de hongos, bacterias y plagas. La semilla es el vehículo para transportar hasta el suelo el complejo de hongos y bacterias que colonizan la rizosfera y así desempeñar las primeras funciones de fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo y algunos micronutrientes; también penetran, invaden y controlan las larvas de plagas presentes en el suelo como gallina ciega, gusano de alambre, escarabajos, gusanos trozadores y barrenadores que afectan en etapas tempranas el desarrollo de los cultivos. El complejo de *Bacillus multicepa* y *Pseudomonas flourecens* protege del ataque de *Fusarium* spp. y de otros fitopatógenos. BioKomplet SH es un complejo de hongos micorrízicos, rizobacterias y hongos entomopatógenos con una composición para cada uno de  $1 \times 10^5$  unidades formadoras de colonias por gramo de producto.

#### **3.2.4. Diseño experimental y de tratamientos**

Se realizaron dos experimentos simultáneamente: el primero con la variedad El Cid tipo saladette y el segundo con la variedad Cedral tipo bola. Los experimentos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar con un

arreglo factorial 2 x 3, con cuatro repeticiones cada uno. En cada experimento se consideraron dos factores de estudio: 1) sistemas de producción; 2) inoculante micorrízico. Los tratamientos resultaron de la combinación de dos niveles para el factor 1 (sistemas de producción en bolsas y en camas) y tres niveles para el factor 2 (testigo sin inoculante, Hortic Plus®, y BioKomplet SH®).

Del arreglo factorial 2 x 3 resultaron 6 tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones, dando un total de 24 unidades experimentales para cada variedad de jitomate estudiada (Cuadro 1). Cada unidad experimental se integró por dos surcos de 2.5 m, con distancia de 0.50 m entre planta y 0.50 m entre surco. El arreglo para el sistema de producción en macetas fue con las distancias antes mencionadas. En total se evaluaron 240 plantas por variedad.

**Cuadro 1.** Diseño de tratamientos

| Tratamiento                               | Sistema de producción | Inoculante                         |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| <b>Jitomate saladette variedad El Cid</b> |                       |                                    |
| 1                                         | Macetas               | Testigo (0 g p <sup>-1</sup> )     |
| 2                                         | Macetas               | Hortic Plus (1 g p <sup>-1</sup> ) |
| 3                                         | Macetas               | AgriBest (1 g p <sup>-1</sup> )    |
| 4                                         | Camas                 | Testigo (0 g p <sup>-1</sup> )     |
| 5                                         | Camas                 | Hortic Plus (1 g p <sup>-1</sup> ) |
| 6                                         | Camas                 | AgriBest (1 g p <sup>-1</sup> )    |
| <b>Jitomate bola variedad Cedral</b>      |                       |                                    |
| 1                                         | Macetas               | Testigo (0 g p <sup>-1</sup> )     |
| 2                                         | Macetas               | Hortic Plus (1 g p <sup>-1</sup> ) |
| 3                                         | Macetas               | AgriBest (1 g p <sup>-1</sup> )    |
| 4                                         | Camas                 | Testigo (0 g p <sup>-1</sup> )     |
| 5                                         | Camas                 | Hortic Plus (1 g p <sup>-1</sup> ) |
| 6                                         | Camas                 | AgriBest (1 g p <sup>-1</sup> )    |

### **3.2.5. Siembra, inoculación y trasplante**

La siembra de las dos variedades se realizó el día 15 de marzo de 2014 en charolas de poliestireno de 200 cavidades. El sustrato para la germinación fue turba de la marca comercial Cosmo Peat®. La turba se humedeció con agua y se llenaron las charolas; manualmente se colocó una semilla por cavidad a una profundidad de 0.5 cm, y se cubrió con vermiculita (sustrato ligero con alta capacidad de retención de humedad). Para la germinación de jitomate se requiere una temperatura óptima de 25 a 28 °C, por lo cual, las charolas fueron apiladas una sobre otra y cubiertas con polietileno negro durante los primeros 3 a 5 días para garantizar una germinación uniforme. El tiempo de germinación del jitomate está en función de la temperatura a la que se encuentren las semillas, por lo que a partir del tercer día fue necesario monitorear el momento en que inició la emergencia para quitar el plástico negro para evitar la etiolación de plantas y separar oportunamente las charolas en su lugar definitivo para su crecimiento. Después de la emergencia se aplicaron riegos diarios con agua durante los primeros 10 días, y posteriormente y hasta el momento del trasplante se aplicó la solución nutritiva universal Steiner (1984) al 20 %.

La inoculación con los productos micorrízicos se realizó al momento del trasplante, impregnando un lado del cepellón con 1 g del producto inoculante correspondiente. El trasplante se realizó el día 16 de abril de 2014, 31 días después de la siembra (DDS), momento en el cual las plantas desarrollaron la cuarta hoja verdadera. El trasplante se realizó en dos sistemas de producción: 1) bolsas de polietileno color negro de 40 x 40 cm, en las cuales se hicieron cuatro perforaciones a 5 cm arriba de la base de la bolsa para favorecer el drenaje. Como sustrato se utilizó tezontle con una granulometría de 12 mm adicionando 450 g de composta en el centro superior de la bolsa, dejándolo al ras del nivel del sustrato, específicamente en la zona donde se ubicó el cepellón de la planta trasplantada para favorecer la colonización de las micorrizas y el aporte de nutrimentos; y 2) en camas con una profundidad de 30 cm, cuyo perfil del sustrato estuvo conformado por 20 cm de tezontle (en el fondo), una capa de 5 cm de

composta y una capa superior de 5 cm de tezontle; posteriormente se acolchó con plástico bicolor con el lado color blanco hacia arriba.

En ambos sistemas se establecieron las plantas a doble hilera, con una distancia entre hileras de 0.80 m y 0.5 m entre plantas, destinando 0.5 m de pasillo entre surcos, esto representó una densidad de 23,529 p·ha<sup>-1</sup>.

### 3.2.6. Riego y solución nutritiva

A partir del trasplante y durante todo el ciclo del cultivo se aplicaron diariamente tres riegos (9:00, 12:30, y 15:30 horas) con la solución nutritiva Steiner al 75 % de su concentración original, con una duración de 15 minutos cada uno mediante un sistema de riego por goteo con goteros cada 50 cm. Debido a que se presentaron periodos prolongados de nubosidad, condición desfavorable para el cultivo, que propiciaron deficiencias de calcio, se aplicaron dos fertilizaciones foliares con el producto Bayfolan® a una dosis de 70 ml utilizando una aspersora de 20 L, (3.5 ml·L<sup>-1</sup>) a los 30 y 60 días después del trasplante. El pH de la solución se mantuvo entre 5.5 y 6.0 haciendo los ajustes necesarios con ácido sulfúrico. La solución nutritiva se preparó con las fuentes y cantidades de fertilizante que se indican en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Fuentes y cantidad de fertilizante (g) utilizado para preparar 1000 L de solución nutritiva de Steiner

| Fuente                | Formula                                              | Aporte | Gramos en 1000 L de agua |
|-----------------------|------------------------------------------------------|--------|--------------------------|
| Nitrato de Calcio     | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O | N, Ca  | 1108.5                   |
| Nitrato de Potasio    | KNO <sub>3</sub>                                     | K, N   | 247.5                    |
| Sulfato de Potasio    | KSO <sub>4</sub>                                     | K, S   | 214.5                    |
| Sulfato de Magnesio   | MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | Mg, S  | 450                      |
| Sulfato Ferroso       | FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                 | Fe, S  | 11                       |
| Sulfato de Manganeseo | MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O                 | Mn, S  | 3.3                      |

|                  |                                                              |       |        |
|------------------|--------------------------------------------------------------|-------|--------|
| Sulfato de Cobre | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$                    | Cu, S | 0.33   |
| Sulfato de Zinc  | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$                    | Zn, S | 0.36   |
| Bórax            | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | B     | 3.71   |
| Ácido Fosfórico  | $\text{H}_3\text{PO}_4$                                      | P     | 108 ml |
| Ácido Sulfúrico  | $\text{H}_2\text{SO}_4$                                      | S     | 41 ml  |

*Fuente: Steiner, 1984.*

### 3.2.7. Labores culturales

**Tutoreo:** es necesario para el cultivo de jitomate para evitar que las plantas se acamen conforme van creciendo y evitar que estén en contacto con el suelo o sustrato. Se utilizaron hilos de rafia, sujetando un extremo del hilo a unos centímetros por encima de la base del tallo de la planta con un nudo no corredizo ni muy cerrado para evitar el estrangulamiento del tallo. La rafia se enredó en espiral a lo largo del tallo de la planta y el otro extremo del hilo fue sujetado en las estructuras de carga del invernadero, en posición vertical. A medida que fueron creciendo, las plantas se fueron enredando en el hilo durante todo su ciclo.

**Poda:** es otra práctica de gran importancia en el cultivo y por ningún motivo debe dejar de realizarse. Con la finalidad de conducir la planta a un solo tallo fue necesario realizar la poda de brotes axilares (“chupones”), los cuales se eliminaron conforme fueron apareciendo en el tallo principal. La poda de hojas se realizó de abajo hacia arriba dejando únicamente una o dos hojas por debajo del primer racimo para favorecer la captación de luz y la ventilación entre las plantas. Esta práctica se continuó a medida que se fue cosechando, eliminando hojas y raquis de racimos ya sin frutos. La cosecha se inició en el mes de agosto y terminó en el mes de noviembre, realizando los primeros cuatro cortes cada 10 días, y posteriormente se realizaron los cortes cada 8 días.

**Polinización:** durante los primeros meses se llevó a cabo con la introducción de abejorros en el invernadero, posteriormente se realizó de manera manual. Para

esto, diariamente entre las 10:00 y las 12:00 horas del día se sometieron las plantas a vibraciones, sacudiendo los hilos del tutoreo de cada planta para propiciar la liberación del polen y favorecer el amarre de frutos.

### **3.2.8. Plagas y enfermedades**

El cultivo de jitomate es susceptible al ataque de plagas, por lo que, durante todo el ciclo del cultivo se realizó el monitoreo visual de plagas y enfermedades, presentándose en mayor incidencia mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), que es la más común en el cultivo y aún más severa cuando se cultiva en invernadero por las condiciones de temperatura y humedad que se desarrollan. Para su control se hicieron aplicaciones cada 15 días alternando productos a base de imidacloprid y betacyfluthrin hasta antes de iniciar la cosecha. En menor incidencia se presentaron trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgón (*Myzus persicae*) y araña roja (*Tetranychus* spp) para los cuales se hicieron aplicaciones periódicas de Spinosad y Abamectina. Las enfermedades que se presentaron durante el ciclo del cultivo fueron tizón tardío (*Phytophthora infestans*), y tizón temprano (*Alternaria solani*), las cuales no fueron de importancia económica.

### **3.2.9. Variables en estudio**

Las variables de rendimiento evaluadas fueron: rendimiento total acumulado (kg) de 10 cortes (RTA), número total de frutos (NTF) de 10 cortes y rendimiento acumulado (kg) por categoría de calidad 8, 7, 6 y 5 (RAC8, RAC7, RAC6, RAC5) para jitomate saladette siguiendo lo establecido en la Norma del Codex para el Tomate (CODEX STAN 293-2007) que se aplica a las variedades comerciales, donde se clasifica tomando en cuenta requisitos de madurez, forma, firmeza, y color homogéneo en frutos que habrán de comercializarse y consumirse en fresco. En cuanto a jitomate bola se clasificaron los frutos por categorías en tamaño extra grande, grande, mediano y chico (EG, GDE, MED, y CH) según lo aplicable a productos alimenticios no industrializados establecido en la Norma



Mexicana NMX-FF-009-1982. El porcentaje de colonización micorrízica en raíz se determinó por el método de Phillips y Hayman (1970).

Metodología seguida para la evaluación las variables evaluadas:

- 1. Rendimiento total acumulado (kg·ha) durante 10 cortes (RTA):** Durante cada corte se registró el peso de los frutos cosechados y al final se sumó el peso de todos los cortes.
- 2. Número total de frutos (NTF):** Durante cada corte se registró el número de frutos cosechados y al final se sumó el número de todos los cortes.
- 3. Rendimiento acumulado (kg·ha<sup>-1</sup>) por categoría:** Durante cada corte se registró el peso de los frutos correspondiente a las 4 categorías (categoría 8, 7, 6, 5) en las que fueron clasificados los frutos de jitomate saladette cosechados y al final se sumó el peso de cada categoría de todos los cortes. Para jitomate tipo bola, se sumó el peso de frutos en cada cosecha de cada uno de los tamaños clasificados.
- 4. Porcentaje de colonización:** Al terminar el ciclo del cultivo, de cada unidad experimental se muestrearon tres plantas, de las cuales se obtuvo toda su raíz, estas fueron lavadas cuidadosamente para evitar la pérdida de raíces jóvenes. Las determinaciones se realizaron en el Laboratorio de Biofertilizantes del INIFAP- Campo Experimental del Valle de México.

De cada planta muestra se separaron raíces nuevas y delgadas y que se sumergieron en KOH al 10 %, se tuvieron durante 10 minutos a baño maría en un horno de microondas. Posteriormente se retiró el exceso de KOH y se dejaron en agua destilada durante 20 minutos, se enjuagaron bien y se colocaron en cajas Petri para posteriormente, con la ayuda de unas pinzas se eligieron y separaron las más delgadas y ramificadas, se cortaron 12 segmentos de raíz de aproximadamente 2 cm de longitud que se colocaron en un porta objetos. Se agregó una gota del colorante azul Tripan en lactofenol y se cubrió con un cubreobjetos; después de 5 minutos se observaron al microscopio las estructuras teñidas y se contabilizaron los segmentos en los que hubo presencia de estructuras fúngicas (hifas, arbuscúlos y vesículas). El porcentaje de colonización

se obtuvo dividiendo el número de segmentos colonizados entre el número total de segmentos (12), multiplicando esto por 100 para expresarlo en porcentaje.

### **3.2.10. Análisis estadístico**

Los datos obtenidos de cada variable se sometieron a un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) a fin de detectar diferencias estadísticas entre los tratamientos y precisar los mejores tratamientos, respectivamente, mediante el programa estadístico SAS 9.0.

## **3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Análisis de varianza**

En el experimento establecido con jitomate saladette variedad El Cid, se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas de producción (SP) para rendimiento por hectárea como se puede observar en la Figura 4, así como en todos sus componentes: rendimiento total acumulado (RTA), número total de frutos (NTF), rendimiento acumulado de frutos categoría 8 (RAC8), categoría siete (RAC7), categoría 6 (RAC6) y porcentaje de colonización del hongo micorrízico en la raíz (COL). El efecto de la inoculación micorrízica se manifestó positivamente en las variables RTA, NTF, RAC8, RAC7, RAC6, y COL. Estos resultados coinciden con los de Alvarado *et al.* (2014). En el caso de la interacción SP x M, únicamente se observó significancia ( $P \leq 0.05$ ) para RAC7 (Cuadro 3).

Respecto al experimento establecido con jitomate bola variedad Cedral, se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas de producción en macetas y sistema de producción en camas para las variables rendimiento total acumulado (RTA), número total de frutos (NTF), frutos tamaño extra grande (EG), frutos tamaño grande (GDE), mediano (MED) y chico (CH). En relación a las variables RTA, NTF, y frutos de tamaño mediano se observó un efecto positivo de la inoculación micorrízica, pero no así, en los frutos de tamaño extra grande, tamaño grande y en el porcentaje de colonización, donde el

comportamiento fue similar tanto en testigo como para ambos productos inoculantes. En el caso de la interacción SP x M, únicamente se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para frutos de tamaño mediano (Cuadro 3).

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de colonización entre los tratamientos de micorrizas, comportándose en forma similar los tratamientos inoculados y el testigo. Esto puede atribuirse a que la formación de esporas está en función de diversos factores ambientales y especie de planta (Armenta *et al.*, 2010) ya que la riqueza del sustrato en el sistema de producción en camas pudo haber influido la eficiencia de las micorrizas, de forma tal que, en un sustrato con una alta disponibilidad de nutrientes disminuye la capacidad de inoculación de la micorriza; este es el fenómeno más general que se reporta cuando se relaciona disponibilidad de nutrientes y efectividad de la micorrización, o con la formación de estructuras fúngicas en el testigo ocasionado por la presencia de esporas en la composta o en el sustrato utilizado.

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de siete caracteres de rendimiento de jitomate hidropónico variedad El Cid y variedad Cedral, inoculado con hongos micorrízicos

| Variedad El Cid |    |                    |                      |                    |          |                   |                    |                     |
|-----------------|----|--------------------|----------------------|--------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------------|
| FV              | GL | RTA                | NTF                  | RAC8               | RAC7     | RAC6              | RAC5               | COL                 |
| SP              | 1  | 3107.3 ***         | 59960 **             | 1067.1 ***         | 118.3 ** | 40.6 ***          | 0.01 <sup>ns</sup> | 2150.8 **           |
| M               | 2  | 474.9 ***          | 15590.5 *            | 53.0 *             | 69.2 **  | 56.7 ***          | 1.24 <sup>ns</sup> | 2278.6 **           |
| SP*M            | 2  | 80.5 <sup>ns</sup> | 3036.2 <sup>ns</sup> | 13.0 <sup>ns</sup> | 59.6 *   | 1.6 <sup>ns</sup> | 0.14 <sup>ns</sup> | 660.7 <sup>ns</sup> |
| Error           | 18 | 74.3               | 4969.6               | 14.8               | 12.9     | 3.1               | 2.5                | 276.2               |
| CV (%)          |    | 16.23              | 15.75                | 21.72              | 20.12    | 18.45             | 32.27              | 28.13               |
| $\bar{X}$       |    | 54.16              | 447.73               | 17.71              | 17.83    | 9.55              | 4.92               | 59.09               |
| R <sup>2</sup>  |    | 0.75               | 0.54                 | 0.83               | 0.64     | 0.75              | 0.24               | 0.63                |

| Variedad Cedral |    |                     |                      |                     |                     |           |                     |                       |
|-----------------|----|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|
| FV              | GL | RTA                 | NTF                  | EG                  | GDE                 | MED       | CH                  | COL                   |
| SP              | 1  | 8674.95***          | 49522.34***          | 323.66***           | 345.23***           | 364.88*** | 241.86***           | 3073.61 <sup>ns</sup> |
| M               | 2  | 490.04***           | 3351.66*             | 24.60 <sup>ns</sup> | 19.72 <sup>ns</sup> | 70.34**   | 26.58 <sup>ns</sup> | 1033.01 <sup>ns</sup> |
| SP*M            | 2  | 25.88 <sup>ns</sup> | 753.26 <sup>ns</sup> | 0.73 <sup>ns</sup>  | 7.18 <sup>ns</sup>  | 34.97*    | 7.55 <sup>ns</sup>  | 825.32 <sup>ns</sup>  |
| Error           | 18 | 74.03               | 1620.8               | 9.78                | 9.46                | 12.66     | 8.39                | 831.87                |
| CV (%)          |    | 16.71               | 19.52                | 39.33               | 25.97               | 26.99     | 30.52               | 59.21                 |
| $\bar{X}$       |    | 51.49               | 206.18               | 7.93                | 11.85               | 13.18     | 9.50                | 48.71                 |
| R <sup>2</sup>  |    | 0.88                | 0.65                 | 0.69                | 0.72                | 0.72      | 0.67                | 0.31                  |

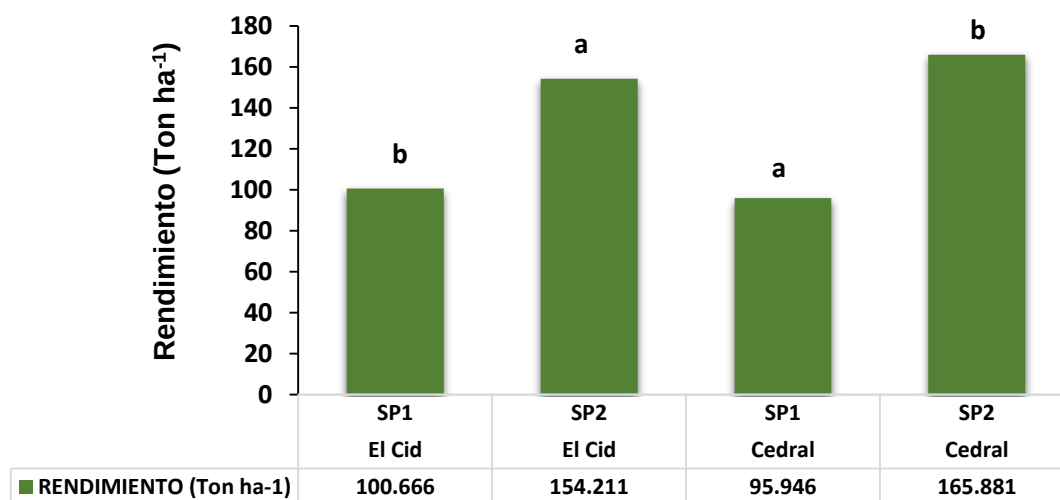
FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, SP: sistema de producción, M: micorrizas, SP x M: interacción sistema de producción x micorrizas, REP: repetición, CV: coeficiente de variación, X: media general del experimento, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación, RTA: rendimiento total acumulado, NTF: número total de frutos, EG, GDE, MED Y CH: fruto tamaño extra grande, grande, mediano y chico, respectivamente, COL: porcentaje de colonización. \*\*\* $P \leq 0.001$ ; \*\*  $P \leq 0.01$ ; \*  $P \leq 0.05$ ; <sup>ns</sup>:  $P > 0.05$ : no significativo.

## COMPARACIÓN DE MEDIAS

### Sistema de producción

En jitomate saladette variedad El Cid, se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los sistemas de producción en camas y sistema de producción en macetas, siendo superior el sistema de producción en camas para rendimiento total acumulado (RTA), número total de frutos (NTF), rendimiento acumulado de frutos categoría 8, 7, 6 y porcentaje de colonización (COL); respecto a la variable rendimiento acumulado de frutos de categoría 5 (RAC5), el comportamiento fue similar en ambos sistemas de producción (Cuadro 4). Respecto a jitomate bola variedad Cedral, se observaron diferencias significativas en todas las variables estudiadas; rendimiento total acumulado (RTA), número total de frutos (NTF), frutos tamaño extra grande (EG), grande (GDE), mediano (MED), chico (CH) y porcentaje de colonización (Cuadro 4). En ambas variedades de jitomate estudiadas, el sistema de producción en camas mostró un efecto superior en rendimiento por hectárea (Figura 4).

El efecto positivo que muestra el sistema de producción en camas para la mayoría de los componentes de rendimiento pudo ser favorecido por la aplicación de la capa de 5 cm de composta que se adicionó al sustrato. Esto brindó a las raíces una mayor superficie en contacto con la composta, y a medida que se incrementa la cantidad de materia orgánica en las plantas de jitomate micorrizadas aumenta la absorción de elementos nutrimentales por las raíces induciendo un mayor desarrollo de los indicadores morfológicos de la planta (Fonseca De la Cruz *et al.*, 2011), ya que una de las funciones fundamentales de los microorganismos inoculados, es estimular el desarrollo radical de las plantas. Esto a su vez posibilita una mayor exploración del sistema radical para una mejor absorción de nutrimentos (Terry y Leyva, 2006). En mayor o menor proporción algunos autores coinciden en buenos resultados al inocular diversos géneros de bacterias y hongos micorrízicos bajo diversos sistemas de producción de jitomate (Díaz *et al.*, 2013).



**Figura 4.** Rendimiento de frutos de jitomate variedad El Cid y variedad Cedral en dos sistemas de producción (SP1: sistema de producción en macetas; SP2: sistema de producción en camas) inoculados con hongos micorrízicos

### Micorrizas

En jitomate saladette variedad El Cid, los efectos de los inoculantes Hortic Plus y BioKomplet fueron estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ) entre sí para todas las variables evaluadas (RTA, NTF y RAC8, 7, 6, 5, y COL); sin embargo, se observó un efecto positivo en los tratamientos inoculados en comparación al testigo. (Cuadro 4). En el porcentaje de colonización el testigo mostró el más bajo porcentaje, esto debido a que no fue inoculado. Respecto a jitomate bola variedad Cedral, el efecto de los productos inoculantes fue estadísticamente igual entre sí, pero superiores al testigo en todas las variables estudiadas. No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los inoculantes y el testigo para número total de frutos, frutos tamaño extra grande y grande; y a pesar de encontrarse diferencias estadísticas significativas para rendimiento total acumulado, frutos tamaño mediano y chico, no se observaron diferencias en el porcentaje de colonización (Cuadro 4).

El comportamiento similar del testigo con los productos inoculantes pudo deberse a un efecto enmascarado debido a la contaminación manifestada por los niveles

de colonización en el testigo ya sea por la incorporación de composta, tezontle, o al momento de producir la plántula en turba, la cual puede contener algunas esporas de hongos micorrízicos (Martínez, 2013), puesto que existen 125 especies de hongos capaces de formar micorrizas con la gran mayoría de plantas superiores (Pajarito, 2012).

**Cuadro 4.** Comparación de medias de los niveles de cada uno de los factores para los caracteres de rendimiento de jitomate hidropónico variedad El Cid y variedad Cedral, inoculado con hongos micorrízicos

| Variedad El Cid   |                  |                 |                |                   |                |               |                |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| FACTOR            | RTA<br>Kg/planta | NTF             | RAC8           | RAC7<br>Kg/planta | RAC6           | RAC5          | COL<br>%       |
| Camas             | 65.54 <b>a</b>   | 497.72 <b>a</b> | 24.38 <b>a</b> | 20.05 <b>a</b>    | 10.85 <b>a</b> | 4.95 <b>a</b> | 68.56 <b>a</b> |
| Macetas           | 42.78 <b>b</b>   | 397.75 <b>b</b> | 11.04 <b>b</b> | 15.61 <b>b</b>    | 8.25 <b>b</b>  | 4.89 <b>a</b> | 49.63 <b>b</b> |
| DMSH <sub>T</sub> | 7.54             | 58.8            | 3.57           | 3.04              | 1.47           | 1.48          | 13.85          |
| Hortic Plus       | 57.65 <b>a</b>   | 466.38 <b>a</b> | 18.09 <b>a</b> | 21.14 <b>a</b>    | 11.15 <b>a</b> | 5.37 <b>a</b> | 70.83 <b>a</b> |
| BioKomplet        | 59.51 <b>a</b>   | 479.50 <b>a</b> | 20.08 <b>a</b> | 16.85 <b>ab</b>   | 11.03 <b>a</b> | 4.74 <b>a</b> | 66.70 <b>a</b> |
| Testigo           | 45.33 <b>b</b>   | 397.33 <b>a</b> | 14.97 <b>a</b> | 15.51 <b>b</b>    | 6.48 <b>b</b>  | 4.64 <b>a</b> | 39.75 <b>b</b> |
| DMSH <sub>T</sub> | 11.22            | 87.49           | 5.31           | 4.53              | 2.19           | 2.20          | 20.61          |

| Variedad Cedral   |                  |                 |                |                  |                |                |                |
|-------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| FACTOR            | RTA<br>Kg/planta | NTF             | EG             | GDE<br>Kg/planta | MED            | CH             | COL<br>%       |
| Camas             | 70.50 <b>a</b>   | 251.60 <b>a</b> | 11.61 <b>a</b> | 15.64 <b>a</b>   | 17.08 <b>a</b> | 12.67 <b>a</b> | 60.03 <b>a</b> |
| Macetas           | 32.48 <b>b</b>   | 160.75 <b>b</b> | 4.26 <b>b</b>  | 8.06 <b>b</b>    | 9.28 <b>b</b>  | 6.32 <b>b</b>  | 37.39 <b>a</b> |
| DMSH <sub>T</sub> | 7.38             | 34.53           | 2.61           | 2.73             | 3.05           | 2.49           | 24.74          |
| Hortic Plus       | 54.17 <b>a</b>   | 213.63 <b>a</b> | 8.99 <b>a</b>  | 12.90 <b>a</b>   | 12.42 <b>a</b> | 10.43 <b>a</b> | 60.44 <b>a</b> |
| BioKomplet        | 57.62 <b>a</b>   | 221.88 <b>a</b> | 8.90 <b>a</b>  | 12.60 <b>a</b>   | 16.46 <b>a</b> | 10.66 <b>a</b> | 47.94 <b>a</b> |
| Testigo           | 42.68 <b>b</b>   | 183.03 <b>a</b> | 5.91 <b>a</b>  | 10.04 <b>a</b>   | 10.68 <b>b</b> | 7.39 <b>b</b>  | 37.75 <b>a</b> |
| DMSH <sub>T</sub> | 10.98            | 51.37           | 3.88           | 4.06             | 4.54           | 3.70           | 36.80          |

**Tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ).** RTA: rendimiento total acumulado, NTF: número total de frutos, RAC8, RAC7, RAC6, RAC5: rendimiento acumulado de frutos categoría ocho, siete, seis y cinco, respectivamente, EG, GDE, MED Y CH: rendimiento acumulado de frutos tamaño extra grande, grande, mediano y chico, respectivamente, COL: porcentaje de colonización, DMS: diferencia mínima significativa.

## COMPARACIÓN DE MEDIAS DE TRATAMIENTOS

La comparación de medias entre tratamientos aplicados a jitomate variedad El Cid, nos indica que los tratamientos 4 (sistema de producción en camas-Testigo), 5 (sistema de producción en camas-Hortic Plus), y 6 (sistema de producción en camas-BioKomplet) fueron superiores para las variables RTA y RAC8; rezagando a

los tratamientos 1 (sistema de producción en macetas-Testigo), 2 (sistema de producción en macetas-Hortic Plus), y 3 (sistema de producción en macetas-BioKomplet). Estos tres últimos tuvieron el mismo comportamiento entre sí para la mayoría de las variables estudiadas (Cuadro 5).

Alvarado *et al.* (2014) reportaron efectos positivos en tamaño de frutos y rendimientos por corte en jitomate inoculado variedad El Cid, cultivado en suelo bajo malla sombra, por lo que puede haber una relación con el sistema en camas, debido al volumen de exploración de la raíz que fue mayor comparado con el sistema en bolsas. Las medias del tratamiento superior (T6) y del tratamiento inferior (T1) son 7.17 kg.planta<sup>-1</sup> vs 3.7 kg.planta<sup>-1</sup>, lo cual es equivalente a 168.71 ton·ha<sup>-1</sup> vs 87.06 ton·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Respecto a los frutos clasificados en la categoría 8 se obtuvieron rendimientos de 62.4 ton·ha<sup>-1</sup> en el T1 vs 219.05 ton·ha<sup>-1</sup> en el T6. En los frutos de categoría cinco no se observaron diferencias significativas, resaltando que el rendimiento de frutos de esta categoría es considerado bajo, lo cual no representa una desventaja, ya que los frutos de esta categoría se comercializan con dificultad alcanzando precios muy bajos en el mercado. Los seis tratamientos fueron estadísticamente iguales para número total de frutos (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Comparación de medias de tratamientos para caracteres de rendimiento en jitomate hidropónico variedad El Cid, inoculado con hongos micorrízicos

| T                            | SP | M | RTA<br>Kg.planta | NTF             | RAC8            | RAC7<br>Kg.planta | RAC6            | RAC5          | COL<br>%        |
|------------------------------|----|---|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 1                            | 1  | 1 | 37.47 <b>b</b>   | 368.25 <b>a</b> | 9.31 <b>c</b>   | 13.84 <b>b</b>    | 5.52 <b>c</b>   | 4.59 <b>a</b> | 40.5 <b>bc</b>  |
| 2                            | 1  | 2 | 43.63 <b>b</b>   | 398.75 <b>a</b> | 9.99 <b>c</b>   | 15.96 <b>b</b>    | 10.0 <b>ab</b>  | 5.23 <b>a</b> | 54.2 <b>abc</b> |
| 3                            | 1  | 3 | 47.26 <b>b</b>   | 426.25 <b>a</b> | 13.83 <b>bc</b> | 17.04 <b>b</b>    | 9.23 <b>abc</b> | 4.86 <b>a</b> | 54.2 <b>abc</b> |
| 4                            | 2  | 1 | 53.19 <b>ab</b>  | 426.40 <b>a</b> | 20.63 <b>ab</b> | 17.18 <b>b</b>    | 7.44 <b>bc</b>  | 4.70 <b>a</b> | 39.0 <b>c</b>   |
| 5                            | 2  | 2 | 71.67 <b>a</b>   | 534.00 <b>a</b> | 26.19 <b>a</b>  | 26.32 <b>a</b>    | 12.28 <b>a</b>  | 5.51 <b>a</b> | 87.5 <b>a</b>   |
| 6                            | 2  | 3 | 71.76 <b>a</b>   | 532.75 <b>a</b> | 26.32 <b>a</b>  | 16.66 <b>b</b>    | 12.83 <b>a</b>  | 4.63 <b>a</b> | 79.2 <b>ab</b>  |
| DMS <sub>H<sub>T</sub></sub> |    |   | 2.0.84           | 166.72          | 9.07            | 8.31              | 4.05            | 3.70          | 40.12           |

**Tratamientos con letras iguales son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ).** T: tratamiento, SP: sistema de producción, M: micorrizas, RTA: rendimiento total acumulado, NTF: número total de frutos, RAC8, RAC7, RAC6, RAC5: rendimiento acumulado de frutos categoría 8, 7, 6 y 5, respectivamente, COL: porcentaje de colonización, DMS: diferencia mínima significativa.

### **3.4. CONCLUSIONES**

La inoculación con hongos micorrízicos incrementó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el rendimiento total y rendimiento en frutos de la mejor calidad. Los dos productos inoculantes mostraron un comportamiento similar entre sí, por tanto, no es posible recomendar uno u otro como el mejor. La eficiencia de la inoculación micorrízica se observó de manera significativa en el sistema de producción en camas, mostrando una superioridad ante el sistema de producción en macetas.



### 3.5. LITERATURA CITADA

- Alvarado Carrillo, M.; Díaz Franco, A. y Peña del Río, M. A. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5(3): 513-518.
- Armenta Bojórquez, A. D.; García Gutiérrez, C.; Camacho Báez, J. R.; Apodaca Sánchez, M. A.; Montoya, L. G. y Nava Pérez, E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra-Ximhai. 6:51-56.
- Bombelli C. E. & Wright, E. R. 2006. Tomato fruit quality conservation during post-harvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinérea*. Cien. Inv. Agr. 33(3): 197-203.
- Casanova, A. S.; Gómez, O., Laterrol, H. y Anais G. 2007. Manual para la producción protegida de hortalizas. (Ed.) AGROINFOR, MINAG (138 p.). La Habana, Cuba. ISBN: 959-7111-37-3.
- Díaz Martínez, O.; Gurrola Reyes, N.; Pérez Santiago, G. y Díaz Martínez, J. 2013. Biofertilizantes en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Vidsupra. 5(1): 44-49.
- Díaz Franco, A.; Salinas García, J. R.; Valadez Gutiérrez, J.; Cortinas Escobar, H. M.; Loredó Osti, C.; Pecina Quintero, V.; Pajarito Revelero, A.; Amado Álvarez, J. y González González, D. 2012. Impacto de la Biofertilización del Maíz en el Norte de México. Folleto Técnico No. MX-0-310301-25-03-13-09-54. ISBN: 978-607-425-838-7. Tamaulipas, México.
- Fonseca de la Cruz, J.; Salgado Batista, Y. y Sotto Torres, A. 2011. Empleo de micorriza y humus de lombriz líquido (Liplant) para la producción de posturas en el cultivo del tomate bajo los principios de la agricultura sostenible. Revista Granma Ciencia. 15(3).
- García Closas, R.; Berenguer, A.; Tormo, M. J.; Sánchez, M. J.; Quirós, J. R.; Navarro, C.; Arnaud, R.; Dorronsoro, M.; Chirlaque, M. D.; Barricarte, A.; Ardanaz, E.; Amiano, P.; Martínez C.; Agudo, A. & González, C. A. 2004. Dietary Sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. Br. J. Nutr. 91(6):1005-1011.
- Guerra Sierra, B. E. 2008. Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. Tecnología en Marcha. 21(1): 191-201.
- Hernández Bautista, A.; Lobato Ortiz, R.; Cruz Izquierdo, S.; García Zavala, J. y Chávez Servia, J. L. 2014. Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruza interespecífica de jitomate. Interciencia. 39 (5): 327-332.
- Luna Murillo, R. A.; Reyes Pérez, J. J.; López Bustamante, R. J.; Reyes Bermeo, M.; Murillo Campuzano, G.; Samaniego Armijos, C.; Espinoza Coronel, A.; Ulloa Méndez, C. & Travéz Travéz, R. 2015. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Centro Agrícola. 42(4): 67-74.

- Martínez Torrijos, E. 2013. Inoculación de calabacita verdura con cepas de hongos micorrízicos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Montaño Arias, N. M.; Camargo Ricalde, S. R.; García Sánchez, R. y Monroy Ata, A. 2008. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos. (Ed.) Mundi-Prensa. 266 p. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT. México.
- Mujica, P. J.; De la Noval, B. y Dell'Amico, J. 2010. Respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de dos inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares por vías diferentes de inoculación. *Agronomía Tropical*. 60(4): 381-387.
- Oseni, T. O.; Shongwe, N. S. and Masarirambi, M. T. 2010. Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. *Int. J. Agric. Biol.* 12(5): 789-792.
- Pajarito Ravelero, A. 2012. Uso de Biofertilizantes en la Producción de Frijol en el Estado de Durango. Libro Técnico No. 6. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, México.
- Parra Gómez, M. A.; Lobato Ortiz, R.; García Zavala, J. J.; Reyes López, D. y Velasco Alvarado, M. J. 2016. Evaluación de líneas de una cruza interespecífica de tomate. *Rev. Fit. Mex.* 39(1): 59-65.
- Pérez Grajales M. y Castro Brindis R. 2011. Jitomate en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, edo. de México. pp 89.
- Ramírez Rosales, G.; Bennett, M.; McDonald, M. & Francis, D. 2004. Effect of fruit development on the germination and vigor of high lycopene tomato (*lycopersicum esculentum* Mill.) seed. *Seed Science and Technology*, 32(3):775-783.
- Rodríguez Dimas, N.; Cano Ríos, P.; Favela Chávez, E.; Figueroa Viramontes, U.; Álvarez, V. de P.; Palomo Gil, A.; Márquez Hernández, C. y Moreno Reséndez, A. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 13(2): 185-192.
- Salgado García, S. y Núñez Escobar, R. 2012. Importancia de los fertilizantes *In: Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos* (Ed.) Colegio de Postgraduados (p. 3). Texcoco, Estado de México.
- Santillana Villanueva, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecol. Apl.* 5 (1,2): 87-91.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Anuario Estadístico de la producción Agrícola. (Consultado en noviembre, 2016).
- Tahat, M. M.; Sijam, K. and Othman, R. 2010. Mycorrhizal Fungi as a Biocontrol Agent. *Plant Pathology J.* 9(4):198-207.
- Terry Elein, A. y Leyva Galán, A. 2006. Evaluación agrobiológica de la inoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*. 30(1): 65-73.

Turk M. A.; Assaf, T. A.; Hammed, K. M. and Al-Tawaha, A. A. 2006. Significance of mycorrhizae. *World J. Agric. Sci.* 2(1): 16–20.

#### 4. CALIDAD DE JITOMATE CULTIVADO EN DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BAJO INVERNADERO Y SU RELACIÓN CON LA INOCULACIÓN MICORRÍZICA

#### QUALITY OF TOMATO CULTIVATED IN TWO PRODUCTION SYSTEMS UNDER GREENHOUSE AND ITS RELATIONSHIP TO MICORRYZIC INOCULATION

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la inoculación micorrízica en la calidad del fruto de jitomate variedad El Cid y Cedral, saladette y bola, respectivamente, cultivado en dos sistemas de producción (SP) en invernadero. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones para un arreglo factorial 2x3. Los factores fueron: 1) sistemas de producción (camas y macetas); y 2) inoculantes micorrízicos (testigo sin inocular, Hortic Plus®, y BioKomplet SH®). Cada unidad experimental se integró por dos surcos de 2.5 metros, con cinco plantas cada una. La inoculación fue al trasplante, con 1 g de inoculante por planta. Se evaluó sólidos solubles totales (SST), firmeza (FIR), pH, acidez titulable (AT), contenido de licopeno (LIC) y vitamina C (VC). En tomate variedad El Cid, la FIR y SST fueron estadísticamente superiores en SP en macetas. En la variedad Cedral se observaron diferencias estadísticas en FIR, pH, AT, y LIC por efecto de inoculación, pero sin afectar la calidad de fruto, manteniéndose dentro de los valores óptimos.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., micorrizas, biofertilizantes, composta, hidroponía.

#### 4. QUALITY OF TOMATO CULTIVATED IN TWO PRODUCTION SYSTEMS UNDER GREENHOUSE AND ITS RELATIONSHIP TO MICORRYZIC INOCULATION

##### ABSTRACT

The objective of this study was to know the effect of mycorrhizal inoculation on the quality tomato fruit in variety El Cid and Cedral, saladette and beef, respectively, grown in the greenhouse. The experimental design was completely randomized with four replicates for a 2x3 factorial arrangement. The factors were: 1) production systems (beds and pots), and 2) mycorrhizal inoculants (uninoculated control, Hortic Plus®, and BioKomplet SH®). Each experimental unit was integrated by two rows of 2.5 meters, with five plants each. The inoculation was at transplantation, 1 g of inoculant per plant was applied. Total soluble solids (TSS), firmness (FIR), pH, titratable acidity (TA), lycopene content (LYC) and vitamin C (VC) were evaluated. In tomato variety El Cid, the values for FIR and TSS were statistically higher in production system in pots. In the variety Cedral, statistical differences in FIR, pH, TA, and LYC were observed due to the inoculation effect, but it did not affect the fruit quality, remaining within the optimum values.

**Keyword:** *Solanum lycopersicum* L., micorrizas, biofertilizantes, hidroponia.

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

El tomate o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es de las hortalizas de mayor importancia tanto desde el punto de vista económico como alimenticio. Es una de las especies hortícolas más importantes para el consumo humano (Parra *et al.*, 2016). Ocupa la mayor superficie sembrada a nivel mundial (Hernández *et al.*, 2014). En México, es la principal hortaliza cultivada (Velazco *et al.*, 2011), y el principal producto hortícola de exportación; representa el 37 % del valor total de las exportaciones de legumbres y hortalizas, y el 16 % del valor total de las exportaciones agropecuarias (Contreras *et al.*, 2013). Los principales estados productores de jitomate son Sinaloa, que en 2015 alcanzó una producción de 849,500 toneladas, equivalentes al 28.6 % de la producción nacional, seguido de San Luis Potosí, Michoacán y Jalisco (SIAP, 2015).

Según Casanova *et al.* (2007) el jitomate es parte importante de la dieta diaria. San Martín *et al.* (2012) atribuyen esto a su alto valor nutricional y nutracéutico. Se consume tanto en fresco como procesado por su riqueza en vitaminas, minerales, fibra y excelentes cualidades gustativas. García *et al.* (2004) lo refieren como la segunda fuente de vitamina C (12 %), provitamina A (14.6 %) y  $\beta$  -caroteno y la tercera fuente de vitamina E (6 %), rico en potasio; bajo en grasas, calorías y libre de colesterol según Bombelli & Wright (2006).

La calidad de jitomate, al igual a la de todos los productos alimenticios, está determinada por la preferencia del consumidor que incluye una serie de parámetros externos como tamaño, forma, firmeza y color del fruto; e internos como sólidos solubles totales, acidez (Anza y Riga, 2007), pigmentación (Urrieta *et al.*, 2012) y vitamina C. La firmeza del fruto es uno de los componentes críticos para la percepción de la calidad por parte del consumidor de jitomate, lo cual está directamente relacionado con la vida de anaquel del fruto, característica fundamental para el mercado (Carrari & Fernie, 2006). Otro indicador de la calidad es la coloración del fruto, ya que los pigmentos de los frutos maduros no sólo son atractivos para los consumidores, además tienen efectos benéficos para

la salud, puesto que son nutrientes esenciales que no pueden ser sintetizados de *novo* en el cuerpo humano.

García *et al.* (2004) reportan al jitomate como la principal fuente de licopeno (71.6 %), pigmento responsable del color rojo del fruto y considerado como un antioxidante de alta actividad biológica en el cuerpo. La acidez titulable es un indicador de la madurez en la que se encuentra el fruto, incluso existe una relación entre acidez titulable (% ácido cítrico) y sólidos solubles totales (°Brix) como índice de madurez de un fruto (Casierra y Aguilar, 2008). Rosales (2008) reportó que una concentración baja en azúcares y alta en ácidos produce un sabor agrio en los jitomates; un contenido bajo en ambos produce un sabor insípido; y un contenido elevado de azúcares y bajo en ácidos produce un sabor dulce y suave, lo cual, lo hace más apetecible al consumidor.

A nivel mundial, los fertilizantes químicos han sido impulsores del desarrollo productivo en varias regiones, gracias a sus resultados en la generación de altos rendimientos en los cultivos. El uso irracional de productos químicos, además de representar un alto costo de producción y contaminación del medio ambiente por residuos inorgánicos, impacta de manera significativa la salud del consumidor, lo que ha despertado el interés de la sociedad por consumir productos libres de plaguicidas, fertilizantes sintéticos y con un alto valor nutricional (Márquez *et al.*, 2010), aunado a la preservación del medio ambiente (Yescas *et al.*, 2013).

Garay *et al.* (2013) ante dicha problemática y con el interés de reducir el impacto de los productos químicos sobre el ambiente y calidad de los productos vegetales, proponen el uso de abonos orgánicos como una excelente opción, siempre y cuando se utilicen de manera adecuada.

En el mismo contexto, Utrera *et al.* (2013) sugieren el uso de composta como una alternativa para reducir el uso de productos químicos; es un abono orgánico que proporciona nutrientes a las plantas, y favorece el crecimiento, desarrollo y productividad de una amplia gama de cultivos por su aporte de N, P, K, Ca, Mg y carbono (Durán y Henríquez, 2010); considerándose como un medio de

crecimiento de especies hortícolas cultivadas en condiciones de invernadero (De la Cruz *et al.*, 2010).

Por otra parte, la biotecnología aplicada a la nutrición y protección de cultivos representa una importante alternativa que en conjunto con la agricultura convencional, puede incrementar los rendimientos agrícolas, al mismo tiempo que se disminuye el impacto sobre la biota del suelo y el medio ambiente. Díaz *et al.* (2013) consideran el uso de biofertilizantes como tecnologías sostenibles entre los cuales se encuentran los hongos micorrízicos, cuya función primordial es facilitarle a la planta la absorción de agua y minerales, principalmente fósforo y nitrógeno (Ávila *et al.*, 2015).

Actualmente, México presenta un desarrollo importante en los sistemas de producción hortícola bajo invernadero, donde los sustratos son un componente clave en la producción de horticultura protegida (Rodríguez *et al.*, 2013). En la producción de cultivos hidropónicos, el sustrato es el medio de cultivo en donde se desarrolla el sistema radical de la planta, por lo que debe poseer características que permitan un adecuado desarrollo de raíces; y se requiere el uso de contenedores que permitan el desarrollo radicular de las plantas.

El sistema en macetas y en camas que usa tezontle como sustrato es de los sistemas más utilizados en invernadero con excelentes resultados, dado que proporcionan el medio adecuado para el desarrollo de las raíces. No obstante, el conocimiento del impacto de los hongos micorrízicos en hortalizas no ha sido suficientemente estudiado, menos aún en combinación con abonos orgánicos como la composta; sin embargo, por el interés de los productores en ponderar entre sustentabilidad y economía, es decir, una producción alta y de calidad, se sugiere el uso de hongos micorrízicos y abonos orgánicos, coincidiendo con Orozco *et al.* (2016); por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar su efecto en jitomate cultivado en invernadero, práctica que según Nelson y Nelson (2015) debe ser incorporada a los sistemas de producción hortícolas.



## 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en un invernadero ubicado en el Campo Agrícola Experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual se encuentra a 2,250 msnm y en las coordenadas geográficas 19° 29' de latitud norte y 98° 53' de longitud oeste.

Con la finalidad de evaluar por separado el comportamiento de cada variedad de jitomate, se tomó la decisión de establecer dos experimentos y analizar por separado las variables correspondientes a cada variedad. Se estudiaron dos variedades de jitomate: Cid y Cedral, tipo saladette y bola, respectivamente, en condiciones de invernadero. Cada experimento se condujo bajo un diseño experimental completamente al azar en un arreglo factorial 2x3 con cuatro repeticiones. Los factores de estudio fueron: 1) sistemas de producción (en macetas y en camas) y 2) biofertilizantes (testigo sin inocular, Hortic Plus®, y BioKomplet SH®). Del arreglo factorial 2x3 se obtuvieron 6 tratamientos. Cada unidad experimental consistió en dos surcos de 2.5 m, con cinco plantas cada una (10 plantas por unidad), con distancia de 0.50 m entre plantas y 0.50 m entre surcos; el mismo arreglo se utilizó en el sistema de producción en macetas. En total se evaluaron 240 plantas por variedad.

La siembra se realizó el 15 de marzo de 2014, en charolas de poliestireno de 200 cavidades, rellenas con turba de la marca comercial Cosmo Peat® como sustrato para germinación. Las cavidades de las charolas se llenaron con turba humedecida y manualmente se colocó una semilla por cavidad a una profundidad de 0.5 cm y se cubrió con vermiculita, que es un sustrato ligero y alta capacidad de retención de humedad. Las charolas fueron apiladas una sobre otra y cubiertas con polietileno negro durante los primeros 3 a 5 días para garantizar una germinación uniforme, a partir del tercer día se monitoreó la emergencia de plántula para retirar el plástico negro evitando así la etiolación de plantas colocando las charolas por separado en su lugar definitivo para el crecimiento de plántulas. Después de la emergencia se aplicaron riegos con agua durante los primeros 10 días, posteriormente y hasta el momento del trasplante se aplicó la

solución nutritiva universal Steiner (1984) al 20 %. El cultivo se condujo a ocho racimos, llevándose hasta noviembre del mismo año.

La inoculación de micorrizas se realizó al momento del trasplante, impregnando un lado del cepellón con 1 g del producto inoculante correspondiente. El trasplante se realizó el día 16 de abril de 2014, 31 días después de la siembra (DDS) en dos sistemas de producción: 1) bolsas de polietileno color negro de 40 x 40 cm, con cuatro perforaciones de 0.5 cm, 5 cm arriba de la base de la bolsa para favorecer el drenaje. Como sustrato se utilizó tezontle con una granulometría menor a 12 mm adicionando 450 g de composta en el centro superior de la bolsa, donde se colocó el cepellón al trasplantar para favorecer la colonización de las micorrizas; y 2) en camas con una profundidad de 30 cm, conformadas en capas de abajo hacia arriba: 20 cm de tezontle, 5 cm de composta y una capa superior de 5 cm de tezontle, acolchando posteriormente con plástico con el color blanco hacia arriba. En ambos sistemas se establecieron las plantas a doble hilera con una distancia entre hileras de 0.80 m y 0.5 m entre plantas, destinando 0.5 m de pasillo entre surcos (23, 529 p ha<sup>-1</sup>).

Desde el trasplante y durante todo el ciclo del cultivo se aplicaron diariamente tres riegos (9:00, 12:30, y 15:30 horas) con la solución nutritiva Steiner al 75 % de su concentración original, con una duración de 15 minutos cada riego mediante un sistema de riego por goteo, con goteros cada 50 cm. Debido a que se presentaron periodos prolongados de nubosidad, condición desfavorable para el cultivo y que propiciaron deficiencias de calcio principalmente por la baja transpiración de la planta, se aplicaron dos fertilizaciones foliares con Bayfolan® a una dosis de 70 ml por cada 20 L de agua a los 30 y 60 días después del trasplante. El pH de la solución se mantuvo entre 5.5 y 6.0 haciendo los ajustes con ácido sulfúrico. La solución nutritiva se preparó con las fuentes y cantidades de fertilizante que se indican en el Cuadro 2.

El jitomate es un cultivo que requiere tutorio para evitar que las plantas se acamen y estén en contacto con el suelo o sustrato. Se utilizaron hilos de rafia, sujetando un extremo del hilo al tallo a unos centímetros por encima del cuello de la planta con un nudo no corredizo y no muy cerrado para evitar estrangulamiento. La rafia se enredó en espiral a lo largo del tallo de la planta y se sujetó en las estructuras de carga del invernadero. A medida que fueron creciendo, las plantas se fueron enredando en el hilo durante todo su ciclo.

La poda es una práctica imprescindible en el cultivo de jitomate. Se hace para favorecer el desarrollo y mejorar el aspecto de la planta. En este caso, se condujo a un solo tallo mediante la poda de brotes axilares laterales conforme fueron apareciendo en el tallo principal, al igual que las hojas más viejas, dejando únicamente una o dos hojas por debajo del racimo para favorecer la captación de luz y la aireación entre plantas. Esta práctica se extendió hasta la cosecha, eliminando las hojas y los raquis de racimos ya sin frutos. La cosecha se inició en agosto y terminó en la primera quincena de noviembre concluyendo con ocho racimos. Los primeros cuatro cortes se hicieron cada 10 días; posteriormente cada 8 días.

Durante todo el ciclo del cultivo se realizó el monitoreo de plagas y enfermedades, presentándose en mayor incidencia mosquita blanca; para su combate se hizo una aplicación cada 15 días alternando productos comerciales a base de imidacloprid y betacyfluthrin hasta antes de iniciar la cosecha. En menor incidencia se presentaron trips (*Frankliniella occidentalis*), pulgón (*Myzus persicae*) y araña roja (*Tetranychus* spp.) y para su combate se hicieron aplicaciones periódicas alternando spinosad y abamectina. Las enfermedades que se presentaron durante el ciclo del cultivo fueron tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y tizón temprano (*Alternaria solani*), las cuales no fueron de importancia económica.

Para cumplir el objetivo general y evaluar la calidad del fruto se registraron datos de sólidos solubles totales expresados en grados Brix, firmeza de fruto ( $\text{kg cm}^{-1}$ ), pH del jugo, acidez titulable (% de ácido cítrico), contenido de licopeno ( $\text{mg 100}$

g<sup>-1</sup> de pulpa fresca), y vitamina C. La calidad de frutos se determinó en estado de madurez con color rojo del quinto racimo madurado en la planta.

Metodología seguida para la evaluación de cada una de las variables evaluadas:

1. **Solidos Solubles Totales:** Se determinó en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1. Se expresó en grados Brix.
2. **Firmeza de fruto:** Se midió utilizando un penetrómetro marca Chatillon expresándolo en kg cm<sup>-1</sup>.
3. **pH:** Se tomaron 10 g de pulpa del fruto y se licuaron con 50 ml de agua destilada. La mezcla se filtró y se midió el pH utilizando un potenciómetro.
4. **Acidez titulable:** 10 g de pulpa de fruto se licuaron con 50 ml de agua destilada. La mezcla se filtró y se tomó una alícuota de 10 ml, se le agregaron dos gotas del indicador azul de timol para realizar la titulación con NaOH 0.1 N, se contabilizaron los ml de NaOH utilizados en la titulación de la muestra y se aplicó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de ácido cítrico:

$$\text{Porcentaje de ácido cítrico} = \frac{\text{ml NaOH} * N * \text{Meq. ácido} * V * 100}{\text{Alícuota (ml)}}$$

Donde:

**N** = Normalidad del NaOH

**V** = Volumen total (ml obtenidos después de licuar)

**Meq. Ácido** = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (para ácido cítrico el valor es 0.064).

5. **Concentración de licopeno:** Se determinó mediante el método descrito por Sadler *et al.* (1990), el cual consiste en tomar 20 g de pulpa de jitomate y licuar agregando agua destilada para formar una pasta. La pasta obtenida se depositó en frascos de vidrio con capacidad de 120 ml, tapados y cubiertos con papel aluminio para proteger la muestra de la luz. Los frascos de vidrio que contenían la pasta se colocaron en una estufa a

60 °C para eliminar el excedente de agua y dejar únicamente la muestra en forma de pasta; después se tomó 0.1 g de la pasta y se colocó en un tubo de ensayo cubierto con papel aluminio y se agregaron 30 ml de una mezcla de solvente polar para separar el pigmento. La proporción de la mezcla polar fue 50:25:25 hexano, etano y acetona, respectivamente. Ya con el solvente, la muestra se agitó por 10 minutos en un agitador magnético, se le adicionaron 18 ml de agua destilada y se agitó nuevamente por 5 minutos; después de esto, usando tubos de separación, la muestra se separó en dos fases: acuosa y orgánica, se tomó la fase orgánica que contenía el pigmento y se registró el volumen. Se determinó su concentración por espectrofotometría a una longitud de onda de 470 nm aplicando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{E_{\max} * V * 100}{E_{4.70}^1}$$

Donde:

**C** = Concentración de licopeno

**V** = Volumen del extracto (el que se midió al momento de separar las dos fases)

**E max**= Máxima absorbancia del extracto

**E 4.70** = Coeficiente de extinción molar (3450)

6. **Contenido de vitamina C:** Se determinó utilizando el reactivo Folin-Ciocalteau que produce color con una absorbancia máxima de 760 nm. El procedimiento fue de la siguiente manera: se tomaron 2 g de la muestra, se depositaron en tubos de ensayo y se agregaron 5 ml de ácido tricloracético (TCA). Los tubos se agitaron vigorosamente y se colocaron en hielo durante 5 minutos. Posteriormente los tubos se centrifugaron a 16000 rpm durante 20 minutos. Se tomaron 0.3 ml y se aforó a 4 ml con agua destilada, se añadieron 0.4 ml del reactivo Folin-Ciocalteau y se agitó

fuertemente. Las muestras se dejaron en reposo durante 10 min para después leer la absorbancia a 760 nm utilizando un espectrofotómetro.

Los datos de cada variable se sometieron a un análisis de varianza y se hizo una comparación de medias con el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el programa estadístico SAS 9.0.

### 4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Análisis de varianza

En los análisis de varianza de los datos del experimento establecido con jitomate saladette variedad El Cid, se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en los efectos de los sistemas de producción (camas y macetas) para sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ) y firmeza de fruto, no así para pH, acidez titulable, contenido de licopeno y vitamina C en los frutos de jitomate. No existieron diferencias en los efectos de los inóculos micorrízicos para ninguna de las variables evaluadas. El efecto de la interacción sistema de producción-micorrizas no fue significativa, lo que indica que ambos productos inoculantes se comportaron de igual manera en los dos sistemas de producción (Cuadro 6).

En el experimento establecido con jitomate bola variedad Cedral, no se observaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre sistema de producción en macetas y sistema de producción en camas para las variables en estudio. En las variables firmeza, pH, acidez titulable y contenido de licopeno de fruto, se observó un efecto positivo de la inoculación micorrízica, no así, para  $^{\circ}\text{Brix}$  y contenido de vitamina C en los frutos, donde el comportamiento fue similar tanto en testigo como para ambos productos inoculantes (Cuadro 6), lo cual puede atribuirse al efecto de la composta que se adicionó en la zona de raíces de la planta, puesto que Castelo *et al.* (2014), Márquez *et al.* (2013) y Pérez *et al.* (2012) demostraron en sus investigaciones que las plantas adicionadas con composta o sustratos orgánicos incrementan los sólidos solubles gracias a una mayor disponibilidad de agua. Castelo *et al.* (2014) reportaron efectos positivos de productos orgánicos para firmeza de fruto en jitomate bola.

Las diferencias encontradas por efecto de la inoculación micorrízica para las variables firmeza, pH, acidez titulable y contenido de licopeno no afecta la calidad de los frutos. En cuanto a sólidos solubles se refiere, para procesado y consumo en fresco el jitomate debe contar con al menos 4.5  $^{\circ}\text{Brix}$  (Moreno *et al.*, 2005, Rodríguez *et al.*, 2007); y a pesar de encontrarse diferencias para pH por efecto

de la inoculación, los valores encontrados (de 4.0 a 4.5), se consideran dentro del rango de buena calidad coincidiendo con Aguayo y Artés, 2004; lo cual posiblemente representa una ventaja ya que los frutos que tienden a ser ácidos son menos susceptibles al ataque de patógenos según Ciruelos *et al.* (2008).

**Cuadro 6.** Cuadrados medios del análisis de varianza de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos

| FV                     | GL | SST                 | FIR                 | PH                  | AT                  | LIC                 | VC                   |
|------------------------|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Variedad El Cid</b> |    |                     |                     |                     |                     |                     |                      |
| SP                     | 1  | 15.36***            | 1.826***            | 0.020 <sup>ns</sup> | 0.053 <sup>ns</sup> | 0.042 <sup>ns</sup> | 0.0001 <sup>ns</sup> |
| M                      | 2  | 0.215 <sup>ns</sup> | 0.029 <sup>ns</sup> | 0.009 <sup>ns</sup> | 0.063 <sup>ns</sup> | 3.860 <sup>ns</sup> | 0.0008 <sup>ns</sup> |
| SP*M                   | 2  | 0.180 <sup>ns</sup> | 0.050 <sup>ns</sup> | 0.008 <sup>ns</sup> | 0.074 <sup>ns</sup> | 2.312 <sup>ns</sup> | 0.0001 <sup>ns</sup> |
| Error                  | 17 | 0.344               | 0.079               | 0.007               | 0.205               | 30.272              | 0.0009               |
| <b>Variedad Cedral</b> |    |                     |                     |                     |                     |                     |                      |
| SP                     | 1  | 2.220 <sup>ns</sup> | 0.016 <sup>ns</sup> | 3.075 <sup>ns</sup> | 0.211 <sup>ns</sup> | 2.344 <sup>ns</sup> | 0.000 <sup>ns</sup>  |
| M                      | 2  | 2.583 <sup>ns</sup> | 1.169***            | 3.289***            | 3.910***            | 30.663***           | 0.003 <sup>ns</sup>  |
| SP*M                   | 2  | 0.554 <sup>ns</sup> | 0.048 <sup>ns</sup> | 2.912 <sup>ns</sup> | 1.714 <sup>ns</sup> | 3.654 <sup>ns</sup> | 0.002 <sup>ns</sup>  |
| Error                  | 17 | 1.078 <sup>ns</sup> | 0.040 <sup>ns</sup> | 1.121 <sup>ns</sup> | 0.815 <sup>ns</sup> | 1.627 <sup>ns</sup> | 0.001 <sup>ns</sup>  |

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, SP: sistema de producción, M: micorrizas, SPxM: interacción sistema de producción x micorrizas, SST: sólidos solubles totales expresados en grados Brix, FIR: firmeza, pH, AT: acidez titulable, LIC: contenido de licopeno, VC: contenido de vitamina C; \*\*\* $P \leq 0.001$ ; \*\*  $P \leq 0.01$ ; \*  $P \leq 0.05$ ; ns:  $P > 0.05$ : no significativo.



## **Comparación de medias**

### **1) Sistemas de producción**

En la variedad de jitomate saladette El Cid, el sistema de producción en macetas fue superior al sistema de producción en camas para sólidos solubles totales y firmeza de fruto con valores de 5.40 vs 3.80; y 1.73 vs 1.18, respectivamente; mostrando un comportamiento similar en ambos sistemas de cultivo para las variables pH, acidez titulable, contenido de licopeno y contenido de vitamina C en los frutos de jitomate. En relación a la variedad de jitomate bola variedad Cedral, no se observaron diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas como se muestra en el Cuadro 7.

### **2) Inoculante micorrízico**

El efecto de los inoculantes HortiC Plus y BioKomplet, en jitomate saladette fueron estadísticamente iguales para todas las variables evaluadas (SST, firmeza, pH, acidez titulable, contenido de licopeno y contenido de vitamina C) mostrando un comportamiento igual al testigo. Respecto a jitomate bola variedad Cedral, el efecto de ambos productos inoculantes fue estadísticamente igual. Al comparar los tratamientos inoculados con el testigo sin inocular se observaron diferencias significativas. El efecto de la inoculación micorrízica con HortiC Plus y BioKomplet fue superior para firmeza de fruto con valores de 1.253 y 1.204 respectivamente, en comparación al testigo con valor de 0.568, lo cual es una condición favorable ya que al incrementar la firmeza en frutos de jitomate se alarga considerablemente la vida postcosecha (Chaib *et al.*, 2007). Respecto a contenido de licopeno, ambos productos inoculantes tuvieron el mismo efecto con valores de 9.40 y 8.21 para HortiC Plus y BioKomplet, respectivamente; los cuales fueron superiores al testigo con valores de 5.57. No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los inoculantes y el testigo para sólidos solubles totales y pH (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Comparación de medias de los efectos de los niveles de los factores de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos

| FACTOR                 | SST<br>(°Brix) | FIR<br>(Kg cm <sup>-1</sup> ) | PH            | AT<br>(% ácido<br>cítrico) | LIC<br>(mg 100 g <sup>-1</sup><br>pulpa fresca) | VC             |
|------------------------|----------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------------------|----------------|
| <b>Variedad El Cid</b> |                |                               |               |                            |                                                 |                |
| Macetas                | 5.40 <b>a</b>  | 1.73 <b>a</b>                 | 4.30 <b>a</b> | 3.26 <b>a</b>              | 9.24 <b>a</b>                                   | 0.066 <b>a</b> |
| Camas                  | 3.80 <b>b</b>  | 1.18 <b>b</b>                 | 4.36 <b>a</b> | 3.16 <b>a</b>              | 9.15 <b>a</b>                                   | 0.061 <b>a</b> |
| DMSH <sub>T</sub>      | 0.505          | 0.242                         | 0.074         | 0.39                       | 4.73                                            | 0.02           |
| Testigo                | 4.75 <b>a</b>  | 1.51 <b>a</b>                 | 4.31 <b>a</b> | 3.31 <b>a</b>              | 8.85 <b>a</b>                                   | 0.05 <b>a</b>  |
| HorticPlus             | 4.42 <b>a</b>  | 1.47 <b>a</b>                 | 4.32 <b>a</b> | 3.17 <b>a</b>              | 8.75 <b>a</b>                                   | 0.07 <b>a</b>  |
| BioKomplet             | 4.62 <b>a</b>  | 1.39 <b>a</b>                 | 4.37 <b>a</b> | 3.15 <b>a</b>              | 10.0 <b>a</b>                                   | 0.06 <b>a</b>  |
| DMSH <sub>T</sub>      | 0.753          | 0.360                         | 0.110         | 0.58                       | 7.057                                           | 0.040          |
| <b>Variedad Cedral</b> |                |                               |               |                            |                                                 |                |
| Macetas                | 3.78 <b>a</b>  | 1.03 <b>a</b>                 | 4.32 <b>a</b> | 2.99 <b>a</b>              | 8.04 <b>a</b>                                   | 0.08 <b>a</b>  |
| Camas                  | 4.38 <b>a</b>  | 0.98 <b>a</b>                 | 3.61 <b>a</b> | 2.81 <b>a</b>              | 7.42 <b>a</b>                                   | 0.08 <b>a</b>  |
| DMSH <sub>T</sub>      | 0.894          | 0.172                         | 0.912         | 0.778                      | 1.099                                           | 0.027          |
| Testigo                | 3.43 <b>a</b>  | 0.57 <b>b</b>                 | 3.23 <b>a</b> | 2.13 <b>b</b>              | 5.58 <b>b</b>                                   | 0.06 <b>a</b>  |
| HorticPlus             | 4.45 <b>a</b>  | 1.25 <b>a</b>                 | 4.32 <b>a</b> | 3.486 <b>a</b>             | 9.40 <b>a</b>                                   | 0.08 <b>a</b>  |
| BioKomplet             | 4.36 <b>a</b>  | 1.20 <b>a</b>                 | 4.39 <b>a</b> | 3.08 <b>ab</b>             | 8.21 <b>a</b>                                   | 0.10 <b>a</b>  |
| DMSH <sub>T</sub>      | 1.332          | 0.257                         | 1.358         | 1.158                      | 1.636                                           | 0.040          |

**Medias con letra(s) igual(es) son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).** SST: sólidos solubles totales expresados en grados Brix, FIR: firmeza, pH: AT: acidez titulable, LIC: contenido de licopeno, VC: contenido de vitamina C.

### Comparación de medias de tratamientos

Las comparaciones de medias entre tratamientos con jitomate saladette variedad El Cid, nos muestra que los tratamientos 1 (macetas-testigo), 2 (macetas-Hortic Plus), y 3 (macetas-BioKomplet) mostraron un comportamiento similar entre sí, pero superiores a los tratamientos 4 (camas-testigo), 5 (camas-Hortic-Plus), y 6 (camas- BioKomplet) para sólidos solubles totales con valores de apenas 3.7 °Brix, inferiores a los valores de los tratamientos 1, 2 y 3 que van desde los 5.0 a 5.7 °Brix. Respecto a jitomate bola no hubo diferencias entre tratamientos inoculados, observándose únicamente un efecto positivo de los tratamientos inoculados 2, 3, 5, y 6 con valores de 1.29, 1.19, 1.21, 1.21 respectivamente en comparación con los tratamientos testigo 1 y 4 con valores de 0.45 y 0.67 respectivamente para firmeza de fruto (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Comparación de medias de los tratamientos de caracteres de calidad de jitomate hidropónico de las variedades El Cid y Cedral, inoculado con hongos micorrízicos

| TRA                    | SP | M | SST<br>(°Brix) | FIR<br>(Kg cm <sup>-1</sup> ) | PH      | AT<br>(% ácido<br>cítrico) | LIC<br>(mg 100 g <sup>-1</sup><br>pulpa fresca) | VC      |
|------------------------|----|---|----------------|-------------------------------|---------|----------------------------|-------------------------------------------------|---------|
| <b>Variedad El Cid</b> |    |   |                |                               |         |                            |                                                 |         |
| 1                      | 1  | 1 | 5.700 a        | 1.882 a                       | 4.275 a | 3.347 a                    | 8.300 a                                         | 0.060 a |
| 2                      | 1  | 2 | 5.075 a        | 1.715 ab                      | 4.325 a | 3.140 a                    | 9.250 a                                         | 0.071 a |
| 3                      | 1  | 3 | 5.042 a        | 1.615 ab                      | 4.375 a | 3.302 a                    | 10.17 a                                         | 0.068 a |
| 4                      | 2  | 1 | 3.800 b        | 1.150 b                       | 4.400 a | 3.290 a                    | 9.400 a                                         | 0.045 a |
| 5                      | 2  | 2 | 3.775 b        | 1.230 b                       | 4.375 a | 3.215 a                    | 8.250 a                                         | 0.075 a |
| 6                      | 2  | 3 | 3.825 b        | 1.177 b                       | 4.387 a | 3.000 a                    | 9.825 a                                         | 0.062 a |
| DMSH <sub>T</sub>      |    |   | 1.1265         | 0.6111                        | 0.2082  | 1.0584                     | 13.134                                          | 0.0685  |
| <b>Variedad Cedral</b> |    |   |                |                               |         |                            |                                                 |         |
| 1                      | 1  | 1 | 3.425 a        | 0.457 b                       | 2.175 a | 1.497 b                    | 5.375 b                                         | 0.053 a |
| 2                      | 1  | 2 | 4.900 a        | 1.295 a                       | 4.362 a | 3.682 a                    | 9.700 a                                         | 0.098 a |
| 3                      | 1  | 3 | 4.825 a        | 1.195 a                       | 4.287 a | 3.232 ab                   | 7.175 b                                         | 0.087 a |
| 4                      | 2  | 1 | 3.425 a        | 0.677 b                       | 4.277 a | 2.752 ab                   | 5.775 b                                         | 0.071 a |
| 5                      | 2  | 2 | 4.000 a        | 1.210 a                       | 4.267 a | 3.290 ab                   | 9.100 a                                         | 0.056 a |
| 6                      | 2  | 3 | 3.900 a        | 1.2125 a                      | 4.427 a | 2.932 ab                   | 9.250 a                                         | 0.112 a |
| DMSH <sub>T</sub>      |    |   | 2.4997         | 0.4884                        | 2.3478  | 1.9874                     | 2.8691                                          | 0.0690  |

**Medias con letra(s) igual(es) son estadísticamente diferentes (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).** TRA: tratamiento, SP: sistema de producción (1: macetas, 2: camas), M: micorrizas (1: testigo sin inocular, 2: HorticPlus, 3: BioKomplet), SST: sólidos solubles totales expresados en grados Brix, FIR: firmeza, pH: AT: acidez titulable, LIC: contenido de licopeno, VC: contenido de vitamina C.

#### 4.4. CONCLUSIONES

En jitomate saladette variedad El Cid, el sistema de producción en macetas tuvo un efecto superior al sistema de producción en camas para firmeza y sólidos solubles totales y no se observaron diferencias por efecto de la inoculación micorrízica. En jitomate bola variedad Cedral, no hubo diferencias atribuibles a los sistemas de producción para las variables evaluadas. La inoculación se vio reflejada en un incremento en el contenido de licopeno, acidez titulable y firmeza de los frutos, propiedades importantes en la calidad del fruto y la vida de anaquel, respectivamente. Respecto a estas variables, los efectos de ambos productos inoculantes fueron iguales entre sí, por lo que no es posible catalogar un producto como el mejor.

#### 4.5. LITERATURA CITADA

- Aguayo G. E. y Artés C. F. (2004). Tomates: Producción y comercio. Reus, España. Ediciones de Horticultura S. L. ISBN: 84-87729-48-7.
- Anza M. y Riga P. (2007). Efecto de la variedad y de la época de cultivo en la calidad organoléptica y nutricional del tomate. XI Congreso SECH (Sociedad Española de Ciencias Hortícolas). *Actas de Horticultura*, 48:209-212.
- Ávila P. O., Mendoza V. R., Valdez A. L. A., Rodríguez C. E. M., Hernández P. A. y Cárdenas F. A. (2015). Crecimiento y estado nutrimental de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Pub. Esp. Núm. 12: 2409-2422.
- Bombelli C. E. & Wright, E. R. (2006). Tomato fruit quality conservation during post-harvest by application of potassium bicarbonate and its effect on *Botrytis cinérea*. *Ciencias de Investigación Agrícola*, 33(3): 197-203.
- Carrari F. and Fernier A. R. (2006). Metabolic regulation underlying tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*, 57: 1883–1897.
- Casanova A. S., Gómez O., Laterrol H. y Anais G. (2007). Manual para la producción protegida de hortalizas. La Habana, Cuba. Agroinfor, minag. <http://dx.doi:10.1093/jxb/erj020>
- Casierra P. F. y Aguilar A. O. E. (2008). Calidad de frutos de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2):300-307.
- Castelo G. A., Gutiérrez C. M., Arellano G. M., Castro E. L., Lares V. F. y Figuera L. P. (2014). Calidad postcosecha y rendimiento de tomate cv. Grandella bajo un sistema de producción orgánico y convencional en condiciones de casa sombra. División III, Aprovechamiento del Recurso Suelo. In *Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. (pp.15-20).
- Chaib J., Devaux M. F., Grotte M. G., Robini K., Causse M., Lahaye M. and Marty I. (2007). Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*, 58: 1915–1925.
- Contreras G. M. I., Astorga C. K. R. y Rivera D. M. (2013). Evaluación de dos métodos de secado de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para la conservación del material genético. In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. (pp. 109-116). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.

- De la Cruz E., Osorio R., Martínez E., Lozano del Río J., Gómez A. y Sánchez R. (2010). Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*, 35(5): 363-368.
- Díaz M. O., Gurrola R. N., Pérez S. G. y Díaz M. J. (2013). Biofertilizantes en el cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Vidsupra*, 5(1): 44-49.
- Durán U. L. y Henríquez H. D. (2010). El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en la planta. *Agronomía Mesoamerica*, 21(1):85-93.
- Garay P. I., Díaz C. A., Adame G. J., Castrejón S. B., Díaz R. M. A. y Perdomo C. J. (2013). Producción de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) con abonos orgánicos y micorrizas bajo condiciones semicontroladas. In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds.), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (pp. 184-190). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.
- García C. R., Berenguer A., Tormo M. J., Sánchez M. J., Quirós J. R., Navarro C...and González C. A. (2004). Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. *British Journal of Nutrition*, 91:1005-1011.
- Hernández B. A., Lobato O. R., Cruz I. S., García Z. J. y Chávez S. J. L. (2014). Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una cruza interespecífica de jitomate. *Interciencia*, 39 (5): 327-332.
- Márquez H. C., Cano C. P., García H. J. L., Rodríguez D. N., Preciado R. P., Moreno R. A... y E. de la C. Lázaro. (2010). Agricultura Orgánica: El Caso de México. In García H. J. L., Salazar S. E., Orona C. I., Fortis H. M. y Trejo E. H. I. (Eds.), *Agricultura Orgánica* (pp. 2-28). Durango, México. ISBN 978-607-00-3411-4.
- Márquez H. C., Cano R. P., Figueroa V. U., Ávila D. J. A., Rodríguez D. N. y García H. J. L. (2013). Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Revista Internacional de Botánica Experimental Internacional φYTON*, 82: 55-61.
- Moreno R. A., Valdéz P. M. T. y Zarate L. T. (2005). Desarrollo de tomate en sustrato de vermicomposta/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*, 65 (1):26-34.
- Nelson J. C. y Nelson J. M. A. (2015). Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. *Cultivos Tropicales*, 36 (1): 55-64.

- Orozco H. L. A., Pérez L. D. de J., González H. A., Franco M. O., Rubí A. M. y Aguilera G. L. I. 2016. Efecto de *Glomus fasciculatum* y su relación con tres abonos orgánicos en dos cultivares de haba. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 17 (6): 1423-1437.
- Parra G. M. A., Lobato O. R., García Z. J. J., Reyes L. D. y Velasco A. M. J. (2016). Evaluación de líneas de una cruce interespecífica de tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39 (1): 59–65.
- Pérez R. M. B., Albarracín M., Moratinos H. y Zapata N. F. (2012). Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Luz*, 29:395-412.
- Rodríguez D. N., Cano R. P., Favela C. E., Figueroa V. U., Álvarez R. V de P., Palomo G. A...y Moreno R. A. (2007). Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13 (2): 185-192.
- Rodríguez D. E., Salcedo P. E., Rodríguez M. R., González E. D. R. y Mena M. S. (2013). Reúso del tezontle: efecto en sus características físicas y en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Terra Latinoamericana*, 31(4): 275-284.
- Rosales V. M. A. (2008). Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. (Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España).
- Sadler G., Davis J. y Dezman D. (1990). Rapid Extraction of Lycopene and  $\beta$ -Carotene from Reconstituted Tomato Paste and Pink Grapefruit Homogenates. A Research Note. *Florida Agricultural Experiment Station Journal Series No. 9250*.
- San Martín H. C., Ordaz C. V. M., Sánchez G. P. Colinas L. M. T. B. y Borges G. L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46:243-254.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2015. Anuario Estadístico de la producción Agrícola. (Consultado en noviembre, 2016).
- Urrieta V. J. A., Rodríguez M. M. N., Ramírez V. P., Baca C. G. A., Ruiz P. L. y Cueto W. J. A. (2012). Variables de producción y calidad de tres

selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(3): 371-381.

Utrera F. E., Garay P. I., Martínez V. J. C., Díaz C. A., Díaz R. M. A. y Sánchez U, R. (2013). Calidad de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill.), con abonos orgánicos y micorriza Bajo condiciones semicontroladas. In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. (pp. 191-195). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.

Velasco H. E., Nieto Á. R. y Navarro L. E. (2011). Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero (3a ed.). México. Mundi-Prensa.

Yescas C. P., Orozco V. J. A., Frías R. J. E., García L. G., Segura C. M. A., Montemayor T. J. A. y López L. S. (2013). Acumulación y distribución de biomasa en tomate con fertilización orgánica bajo invernadero In Rangel L. J. A., Raya P. J. C., Cervantes O. F., Aguirre M. C. L., Ramírez P. J. G. y Mendoza E. M. (Eds.), *1er Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (pp. 184-190). SOMECTA. ISBN 978-607-96093-1-3.

## **5. CONCLUSIONES GENERALES**

En ambos experimentos (jitomate saladette y bola) el comportamiento de los dos productos inoculantes evaluados mostraron un comportamiento similar entre sí, por tanto, no es posible establecer cuál de los dos inoculantes micorrízicos es recomendable en la producción de jitomate. Sin embargo, el efecto de la inoculación se vio reflejado en un incremento del contenido de licopeno y firmeza de los frutos de jitomate, en comparación con el testigo sin inocular, lo cual representa una ventaja considerando la vida de anaquel del fruto.

La eficiencia de la inoculación micorrízica fue mayor en sistemas de producción en camas, dado que se proporciona una mayor superficie para el desarrollo de raíces logrando así una mayor colonización del hongo. La eficiencia de la inoculación micorrízica se observó de manera significativa en el sistema de producción en camas donde las micorrizas incrementaron el rendimiento total por hectárea, así como también favorecieron la producción de los frutos de mayor calidad en plantas de jitomate.

Las variables firmeza y sólidos solubles totales en jitomate saladette variedad El Cid, se vieron favorecidas en frutos producidos en el sistema de producción en macetas. En jitomate tipo bola variedad Cedral, no hubo diferencias atribuibles a los sistemas de producción para las variables evaluadas.