



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



INSTITUTO DE HORTICULTURA

**INOCULACIÓN CON MICORRIZAS EN EL CULTIVO DE CHILE MORRÓN EN
INVERNADERO E HIDROPONÍA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

ROGELIO RAMÍREZ ZAMARRIPA



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

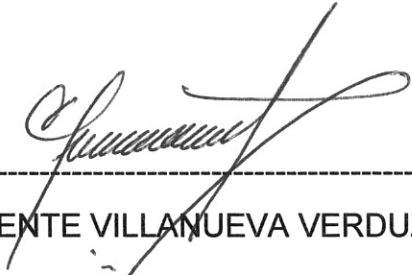
Chapingo, Estado de México, Junio de 2015

INOCULACIÓN CON MICORRIZAS EN EL CULTIVO DE CHILE MORRÓN EN INVERNADERO E HIDROPONÍA

Tesis realizada por Rogelio Ramírez Zamarripa, bajo la dirección del comité asesor indicado aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



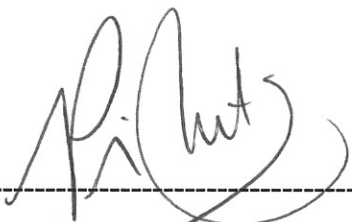
DR. CLEMENTE VILLANUEVA VERDUZCO

ASESOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DR. JOEL PÉREZ NIETO

AGRADECIMIENTOS

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

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Instituto de Horticultura por brindarme la oportunidad de cursar el posgrado.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco por su apoyo, paciencia y disposición para el desarrollo de este proyecto.

Un agradecimiento especial a la Dra. Marta Blanca Irizar Garza titular del Laboratorio de Biofertilizantes, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y a su personal técnico, por el apoyo y las facilidades prestadas para el trabajo de laboratorio

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos y al Dr. Joel Pérez Nieto por ser parte de este proyecto y dedicar parte de su tiempo en su revisión.

Para el señor Maximino Ramírez Ayala y a mi amigo Eduardo Espinoza García por su apoyo en el trabajo de campo.

DEDICATORIA

A mis padres: Rogelio Ramírez Ramírez y Berta Zamarripa Yepes, por darme la vida y apoyarme en cada decisión tomada.

A mis hermanos: Rubicelia, Lucila, Ma. De los ángeles y Juan José por su apoyo incondicional y consejos.

DATOS BIOGRÁFICOS

ROGELIO RAMÍREZ ZAMARRIPA NACIÓ EL 19 DE MAYO DE 1988, EN EL ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO. REALIZÓ SUS ESTUDIOS DE PRIMARIA, SECUNDARIA Y PREPARATORIA EN DICHO ESTADO. EN EL 2006 INGRESA A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO DONDE OBTIENE EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO ESPECIALISTA EN FITOTECNIA EN EL 2011.

EN EL 2012, LABORÓ COMO FACILITADOR DE CAMPO IMPLEMENTANDO EL PROYECTO ESTRATEGICO PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA (PESA) Y RELIZANDO VENTAS DE INSUMOS AGRÍCOLAS EN EL ESTADO DE OAXACA. EN EL AÑO 2013 INGRESA AL POSGRADO DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA DEL INSTITUTO DE HORTICULTURA EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
DATOS BIOGRÁFICOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO	4
2.1 Objetivo específico	4
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1 Origen	6
4.2 Usos del pimiento	6
4.3 Perfil del mercado del pimiento	7
4.4 Descripción botánica	7
4.5 Morfología del pimiento.....	7
4.6 Exigencias Edafoclimáticas.....	9
4.7 Calidad poscosecha	10
4.8 Componentes de la calidad del pimiento	12
4.9 Sistema hidropónico	15
4.10 Fertilizantes	19
4.10.1 Fertilizantes químicos.....	19
4.10.2 Biofertilizantes.....	22
4.11 Control biológico	31
4.11.1 Antagonismo	31
4.11.2 Inducción de resistencia a patógenos.....	31

4.11.3 Competencia por espacio y nutrientes.....	32
4.12 Micorrizas.....	33
4.12.1 Definición	33
4.12.2 Las micorrizas arbusculares	33
4.12.3 Mecanismo de colonización.....	35
4.12.4 Las micorrizas en la absorción de fósforo	37
4.12.5 Taxonomía.....	38
4.12.6 Ventajas y beneficios de los hongos arbusculares	38
5. MATERIALES Y MÉTODOS	40
5.1 Sitio experimental	40
5.2 Materiales.....	40
5.3 Siembra	43
5.4 Trasplante	43
5.5 Inoculación.....	44
6.6 Manejo del cultivo	44
5.7 Diseño experimental y de tratamientos	47
5.8 Caracteres de estudio	49
5.8.1 Altura a primera bifurcación (APB).	49
5.8.2 Diámetro del tallo (DT).....	49
5.8.3 Altura de planta (AP).....	49
5.8.4 Largo y ancho de frutos (LF, AF).	49
5.8.5 Peso promedio del fruto fresco (PF).....	50
5.8.6 Rendimiento por planta (RPL).	50
5.8.7 Rendimiento por hectárea (RHA).....	50
5.8.9 Índice de área foliar (IAF).....	50
5.8.10 Colonización radical (CR)	51

5.8.11 Color del fruto	52
5.8.12 Acidez titulable (AT).....	52
5.8.13 Sólidos solubles totales.....	53
5.9 Análisis estadístico.....	53
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
6.1 Análisis de varianza.....	55
6.2 Comparaciones de medias.....	55
6.3 Correlaciones entre variables	58
7. CONCLUSIONES.....	62
8. LITERATURA CITADA	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición nutrimental del pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	11
Cuadro 2. Ficha técnica del híbrido utilizado.....	40
Cuadro 3. Solución nutritiva utilizada en chile morrón. Chapingo, México.....	45
Cuadro 4. Definición de tratamientos en invernadero e hidroponía.....	48
Cuadro 5. Cuadrados medios de significancia estadística para las variables evaluadas en chile morrón en invernadero e hidroponía.....	55
Cuadro 6. Comparaciones múltiples de medias para caracteres morfológicos de chile morrón en invernadero e hidroponía. Chapingo, México 2014.....	56
Cuadro 7. Correlaciones fenotípicas entre caracteres de chile morrón en invernadero e hidroponía. Chapingo, México 2014.....	58

INOCULACIÓN CON MICORRIZAS EN EL CULTIVO DE CHILE MORRÓN EN INVERNADERO E HIDROPONÍA

Inoculation using mycorrhizae in bell pepper cultivation under greenhouse and hydroponics system

Rogelio Ramírez Zamarripa¹, Clemente Villanueva Verduzco², Martha Blanca Irizar
Garza, Jaime Sahagún Castellanos, Joel Pérez Nieto

RESUMEN

El estudio se realizó con el objeto de determinar la respuesta del chile morrón (cv Cannon F₁) cultivado en invernadero e hidropónia, a la micorrización sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de la cosecha. Las micorrizas utilizadas en el experimento fueron; Hortic plus, Agribest, Inifap, Vam pwi y un testigo sin inocular. Fue aplicado un 1g.planta⁻¹ de producto al momento del trasplante en una de las caras del cepellón de la plántula. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Hortic Plus fue la que más favoreció la colonización radical (79.18 %). No se observaron diferencias significativas entre micorrizas para ninguna variable de crecimiento, rendimiento y calidad. El porcentaje de colonización no correlacionó con ninguna variable evaluada. La altura de planta, ancho de fruto, peso de fruto y rendimiento por planta son componentes del rendimiento por hectárea, por su correlación positiva y significativa.

PALABRAS CLAVE: *Capsicum annuum*, hongos endomicorrízicos, hidropónia, nutrición.

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

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

ABSTRACT

This research was done in order to determine bell pepper response (cv. Cannon F₁) cultivated under greenhouse and hydroponics conditions, mycorrhizae on growth, performance and quality of the crop. The mycorrhizae used during the research were: Hortic plus, Agribest, Inifap, Vam Pwi and an inoculated witness. The product of 1g.plant⁻¹ was applied at transplant moment in one side of the root ball seedling. The experimental design with four repetitions was completely random. Hortic Plus was the best by favoring root colonization (79.18 %). Significant differences among mycorrhizae were not observed for any growth, performance and quality variable. The colonization percentage did not correlate with any evaluated variable. Plant height, width of fruit, fruit weight and yield per plant are components of yield per hectare, for their positive and significant correlation.

KEY WORDS: *Capsicum annuum* L, endomycorrhizal fungi, hydroponic, nutrition.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la horticultura protegida en México es un sector en franco crecimiento, con gran potencial de desarrollo, dada la demanda generada en el mercado de los Estados Unidos de América, principalmente, por las hortalizas frescas producidas en forma inocua en estos ambientes; de éstas, las que tienen mayor demanda son berenjena, calabacita, chile verde, lechuga y pepino (Castellanos, 2004).

El cultivo de chile (*Capsicum annuum* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por su gran consumo en la población (Namesny, 2006); en México, la superficie cosechada es de 143,975 hectáreas y un rendimiento promedio de 16.22 t·ha⁻¹ (SIAP, 2012).

Los estados con mayor producción son Chihuahua, Sinaloa y Zacatecas, y las variedades que más se cultivan son el jalapeño, serrano, poblano, morrón y habanero. Existiendo alrededor de 12 mil productores dedicados al cultivo de esta hortaliza en México (SIAP, 2012).

El pimiento es uno de los cultivos hortícolas bajo invernadero con mayor superficie cultivada. La demanda de los mercados de pimientos frescos durante todo el año, ha crecido espectacularmente y ha tenido como consecuencia el desarrollo del cultivo en invernaderos. Durante su cultivo se emplean dosis de fertilización que oscilan entre 50 y 80 t·ha⁻¹ en un ciclo de cultivo de ocho a diez meses después del trasplante, dependiendo de la fertilidad del suelo (Résendiz-Melgar *et al.*, 2010).

En la actualidad la industria hortícola demanda prácticas que reduzcan los costos, minimicen el uso de agroquímicos e incrementen el uso eficiente del agua (Davies *et al.*, 2000).

En respuesta a la necesidad de generar cultivos con trazas mínimas o nulas de agroquímicos mediante tecnologías orgánicas, se ha implementado el uso de los inoculantes microbianos que promueven el crecimiento de las plantas mejorando la disponibilidad de los nutrientes. Dichos microorganismos son capaces de colonizar la raíz, generando plantas más sanas y de mayor calidad, constituyendo además una alternativa para optimizar el uso de fertilizantes químicos (Veeseey, 2003).

Las plantas han desarrollado numerosas estrategias desde que colonizaron los ecosistemas terrestres, para hacer frente a los diversos retos bióticos y abióticos. Una de las más eficaces es la capacidad de los sistemas de raíces para establecer relaciones simbióticas mutualistas benéficas con los microorganismos. La micorriza, una forma intrincada de asociación de las raíces con algunos grupos de hongos, es la más frecuente y representa a los órganos de absorción de la mayoría de las plantas en la naturaleza (Camarena *et al.*, 2012). Esta asociación cumple una función muy importante en la explotación eficaz de los recursos minerales del suelo y en la protección de las raíces contra una serie de patógenos.

La inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es una práctica que ha tenido beneficios en la producción agrícola. La actividad simbiótica que presentan los hongos formadores de micorrizas puede constituir un componente biotecnológico importante para el incremento de la productividad hortícola (Díaz *et al.*, 2013).

Aunque es amplio el conocimiento sobre los impactos de los HMA en hortalizas producidas en campo, poco se conoce sobre sus efectos en condiciones de invernadero e hidroponía.

2. OBJETIVO

Evaluar el efecto de la inoculación con hongos endomícrrizicos en combinación con composta sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de chile morrón en invernadero e hidroponía.

2.1 Objetivo específico

Determinar con base en las correlaciones positivas y significativas, los caracteres componentes del rendimiento de chile morrón.

3. HIPÓTESIS

De cuatro fuentes comerciales de micorrizas aplicadas al híbrido de chile morrón Cannon F₁ cultivado en invernadero e hidroponía, al menos una coloniza eficientemente las raíces, provocando un mejor crecimiento, incrementando el rendimiento y mejorando la calidad del fruto.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen

El pimiento es originario de América del Sur, de la zona de Bolivia y Perú.

Al igual que el tomate, el pimiento pertenece a la familia botánica de las Solanáceas; posee una gran variabilidad genética que conlleva a que existan varias posturas respecto a su denominación botánica. Sin embargo, la mayoría de los autores aceptan que es *Capsicum annuum* la especie que engloba a casi todas las variedades cultivadas (Namesny, 2006).

4.2 Usos del pimiento

Su uso destaca principalmente en el consumo humano, ya que se utiliza en una amplia variedad de comidas como especia o condimento. Aparte del consumo se utiliza en fresco, cocido o como un condimento o "especia" en comidas típicas de diversos países. Existe una gran gama de productos industriales que se usan en la alimentación humana como son congelados, deshidratados, encurtidos, enlatados, pastas y salsas. Además se emplean en la medicina para la composición de algunos medicamentos utilizados para combatir la atonía gastro-intestinal y algunos casos de diarrea. Como especias se utiliza en la elaboración de gran número de comidas y para la decoración bocadillos (CIB, 2012).

4.3 Perfil del mercado del pimiento

Los cuatro principales países productores de chiles verdes, son: China (15, 823, 000.00 t), México (2, 294, 400.00 t), Turquía (2, 159, 348.00 t) e Indonesia (1, 726, 382.00 t), (FAO 2013).

Para el año 2013, México tuvo una producción de chiles de 2, 294, 400.00 t, con un rendimiento promedio de 17.3 t·ha⁻¹ (FAO 2013).

4.4 Descripción botánica

Todas las formas de pimiento, chile o ají utilizadas por el hombre pertenecen al género *Capsicum*. El nombre científico del género deriva del griego; según unos autores de *Kapso* (picar), según otros *Kapsakes* (cápsula). Este género se incluye en la extensa familia de las Solanáceas (Nuez *et al.*, 1996):

División: *Spermatophyta*

Línea XIV: *Angiospermae*

Clase A: *Dicotyledones*

Rama 2: Malvales-Tubiflorae

Familia: Solanaceae

Género: *Capsicum*

4.5 Morfología del pimiento

Sistema radical. Es pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m.

Planta. Es herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual, de porte variable entre los 0.5 m, en determinadas variedades de cultivo a campo abierto y más de 2 metros.

Tallo. Es de crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura (“cruz”) emite dos o tres ramificaciones, dependiendo de la variedad, y continua ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo, en tanto que los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente.

Hoja. Es glabra, entera y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y bien definido. El haz es glabro, liso y suave al tacto, y de color verde más o menos intenso, dependiendo de la variedad, y brillante. La nervadura principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, que las nervaduras secundarias son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño varía en función de la variedad, y existe cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.

Flor. Es hermafrodita, pequeña, de corola blanca, con 5 a 6 pétalos y anteras, de ovario súpero y número de carpelos variable. Sus flores son solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10 %.

Fruto. El fruto de pimiento botánicamente se define como una baya. Se trata de una estructura hueca, llena de aire, con forma de cápsula. La baya está constituida por un pericarpio grueso y jugoso y un tejido placentario al que se unen las semillas. El color externo puede ser de blanco al negro, aunque predominan los colores amarillo, naranja, violeta, verdes y rojos. El pericarpio es más o menos grueso o carnoso y encierra dos o más espacios interlocares, donde se ubica una placenta unida

basalmente al receptáculo y cáliz, y mediante septas intraloculares, a las paredes del pericarpio mismo

Semilla. La semilla del pimiento tiene una forma aplastada lenticular u oval de superficie relativamente lisa, sin aspecto pubescente o tomentoso. En su mayoría son de color amarillento y se sitúan en la región de la placenta central (corazón), en la cual están insertadas y que al separarse presentan una cicatriz en la zona del funículo (Russo, 2012).

4.6 Exigencias Edafoclimáticas

El pimiento morrón y sobre todo sus variedades dulces, tienen unas exigencias en temperaturas elevadas. Su desarrollo óptimo se produce para temperaturas diurnas en 22-28 °C y de temperaturas nocturnas de 16-18 °C. Por debajo de los 15 °C su desarrollo se ve afectado y deja de crecer a partir de los 10 °C.

Por encima de los 35 °C puede producirse la caída de flores. Las heladas destruyen su parte aérea, pero si no han sido muy intensas la planta puede rebrotar.

El pimiento requiere, en el ambiente del invernadero, humedad relativa más elevada que el tomate y la berenjena. El óptimo de la humedad relativa está comprendido entre el 50 y el 70 %.

En cuanto a suelos, requiere que éstos sean profundos, de baja salinidad, ricos en materia orgánica, bien aireados y, sobre todo, bien drenados. Puede resistir ciertas condiciones de acidez hasta un pH de 5,5, y en cultivo enarenado puede cultivarse con pH próximos a 8

El pimiento es una planta muy exigente en cuanto a luminosidad durante todo su ciclo, principalmente en la floración.

Cuando hay poca luz, los entrenudos de los tallos del pimiento se alargan demasiado y quedan muy débiles para soportar una cosecha óptima de frutos. En estas condiciones la planta florece menos y las flores son más débiles. (Nuez *et al.*, 2003).

4.7 Calidad poscosecha

El pimiento posee un elevado valor nutritivo, ya que es fuente de vitamina A, B, C y E, minerales (Cuadro 1) como molibdeno, manganeso, ácido fólico, potasio, fibra y una elevada cantidad de antioxidantes (Kothari *et al.*, 2010).

Los colores amarillo, naranja y rojo de los pimientos proceden de pigmentos carotenoides producidos durante la maduración del fruto. La ingesta de estos compuestos en los alimentos es un importante factor de protección de la salud al proporcionar una actividad antioxidante (Kothari *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Composición nutrimental del pimiento (*Capsicum annuum* L.)

Nutriente	*Cantidad Reportada	
	Variedad Picante	Variedad Dulce
Agua	87.74 g	92.19 g
Contenido Energético	40 Kcal	27 Kcal
Carbohidratos	9.46 g	6.43 g
Grasas	0.20 g	0.19 g
Proteínas	2 g	0.89 g
Fibra	1.5 g	2.0 g
Cenizas	0.6 g	0.3 g
Calcio	18 mg	9 mg
Potasio	340 mg	177 mg
Fosforo	46 mg	19 mg
Hierro	1.2 mg	0.46 mg
Vitamina A	10750 U.I	5700 U.I
Tiamina	0.09 mg	0.066 mg
Riboflavina	0.09 mg	0.030 mg
Niacina	0.95 mg	0.51 mg
Ácido Ascórbico	242.5 mg	190 mg

*Composición por 100 g de porción comestible (USDA, 2011).

En cuanto a los flavonoides, la mayoría de los estudios sobre pimientos se han concentrado en agliconas de quercetina y luteolina (Howard *et al.*, 2000). El color verde de los pimientos es debido a la clorofila y los carotenoides típicos del cloroplasto. El color amarillo y naranja está formado por α y β caroteno, zeaxantina, la luteína y β -criptoxantina (Howard, 2000). Mientras que el color rojo es debido a la presencia de capsantina, capsorubina, y capsantina 5,6 epóxido (Kothari *et al.*, 2010).

4.8 Componentes de la calidad del pimiento

Los consumidores comienzan a demandar hortalizas de mayor calidad y a precios razonables. Dentro del concepto de calidad, se incluye la presentación del producto, la calidad gustativa, las formas, los colores, la ausencia de residuos de pesticidas y la producción no agresiva con el medio ambiente.

Los múltiples usos del pimiento, permiten considerar un gran número de atributos como indicadores de su calidad. No obstante, en las normativas más utilizadas destacan el calibre, el color, la firmeza como indicadores de la madurez y las formas de transporte. Con los análisis de los parámetros de calidad de firmeza, grosor de la pared y contenido de sólidos solubles se pueden relacionar con el grado de aceptación por los consumidores.

Textura

Es un atributo de calidad importante para los consumidores. Por lo que se puede definir a las propiedades texturales de un alimento como: al grupo de características físicas que son detectadas por la sensación de tacto, están relacionados con la deformación, la desintegración y el flujo del alimento bajo la aplicación de una fuerza, y se miden objetivamente por las funciones de fuerza, el tiempo y la distancia, además, establece que la textura se compone de varias propiedades, que implican una serie de parámetros. Estas propiedades pueden ser mecánicas (dureza, masticabilidad y viscosidad), geométricas (tamaño de partícula y la forma) o químicas (contenido de humedad y grasa) (Morales, 2013).

La firmeza

La firmeza es un indicador de calidad que está claramente relacionado con el tiempo de conservación de alimentos principalmente en frutas y hortalizas. Por esta razón, los valores elevados de firmeza son deseables para productos que tienen que viajar largas distancias antes de llegar a los consumidores (Urrestarazu *et al.*, 2002). La pared externa de un pimiento cubre grandes espacios locales y con el apoyo de tres o cuatro paredes carpelares de todo el eje ecuatorial, el tejido placentario y las semillas se encuentran en el centro de la fruta y contribuyen poco al soporte de la pared (Showalter, 1973). Castro *et al.*, (2011) muestran datos de firmeza en pimientos medidos sobre el epicarpio con valores de 8.4 y 3.3 Newtons, respectivamente y que son menores a los que presentan. Guerra *et al.*, (2011) los cuales se encuentran entre 34.3 a 38.2 Newtons, que representa mayor grosor en la pared del fruto y por consecuencia una mayor resistencia a la deformación.

Sólidos solubles totales

Una característica importante que refleja la calidad del pimiento son los sólidos solubles totales (SST) ya que presentan gran variación en función del cultivar, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, en otros (Urrestarazu *et al.*, 2002). De la misma manera (Castro *et al.*, 2011) presentan datos de SST, con valores de 4.8 °Brix, mientras que (Rao *et al.*, 2011) presentan valores que van de 2.9 a 5.8 °Brix, y que se encuentran relacionados principalmente con los carbohidratos contenidos en el jugo obtenido del fruto, así como de minerales disueltos.

Color

El aspecto visual es uno de los factores principales utilizados por el consumidor al momento de comprar un producto; y el color es una parte importante del aspecto visual, que además se utiliza en muchos estándares de clasificación como criterio de calidad (Morales, 2013)

Durante la maduración de los frutos, el color del epicarpio puede ser medido mediante el uso de técnicas y/o métodos no destructivos y para tal fin se suelen emplear cartas de colores, colorímetros, espectrofotómetros y sistemas de visión computarizada (SVC).

Grosor de la pared del fruto (pericarpio)

Esta característica también provee de calidad al fruto, ya que el pimiento de carne gruesa responde a los incrementos de radiación, mejorando su tamaño y peso del fruto en consecuencia el grosor de la pared de la hortaliza. Esta variable se encuentra determinada por la concentración del calcio, que es el nutriente de las plantas, frecuentemente asociado con el desarrollo del fruto en general, y la firmeza en particular (Morales, 2013).

Para que los pimientos se consideren de calidad deben ser firmes, enteros y sanos, lo que significa que no presenten enfermedades, daños físicos, mecánicos, fisiológicos y fitopatológicos. Es por esto que también las enfermedades en poscosecha son un tema que confiere información relevante sobre el comportamiento del cultivo de pimiento.

Enfermedades poscosecha

Las enfermedades en poscosecha en frutas y hortalizas son de las principales causas de pérdidas en la producción de alimentos en EE.UU. Éstas pérdidas representan el 24 % de la producción; sin embargo, estos porcentajes pueden ser más altos en países en vías de desarrollo.

Estas pérdidas se han observado principalmente en el momento de la cosecha además que también se observan durante la comercialización del producto. Las principales enfermedades en poscosecha que dañan el cultivo de pimiento son: *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Colletotrichum* spp., *Clavibacter michiganensis* pv. *Michiganensis*, *Bacillus polymyxa*, *Erwinia caratovora* pv. *Caratovora*, *Phythium debaryanum* Hese, *Fusarium* spp, *Botrytis cinérea*, *Phytophthora* spp., entre otros (Snowdon, 1990; Morales, 2013).

4.9 Sistema hidropónico

Marco de plantación

Se establece en función del porte de la planta, que a su vez dependerá de la variedad comercial cultivada. El más frecuentemente empleado en los invernaderos es de 1 metro entre líneas y 0.5 metros entre plantas, aunque cuando se trata de plantas de porte medio y según el tipo de poda de formación, es posible aumentar la densidad de plantación a 2.5-3 plantas por metro cuadrado.

También es frecuente disponer de líneas de cultivo pareadas, distantes entre sí 0.8 metros y dejar pasillos de 1.2 metros en cada par de líneas con objeto de favorecer la realización de las labores culturales, evitando daños indeseables al cultivo.

En cultivo bajo invernadero, la densidad de plantación suele ser de 20,000 a 25,000 plantas/ha, mientras que en cultivo al aire libre se suele llegar hasta 60,000 plantas/ha.

Las prácticas culturales son importantes para un buen desarrollo y rendimiento del cultivo.

Siembra

La cual se realiza en semilleros, a una profundidad de 2 a 3 mm, evitando que las semillas queden juntas.

Poda de formación

Es una práctica cultural frecuente y útil que mejora las condiciones de cultivo en invernadero y como consecuencia la obtención de producciones de una mayor calidad comercial. Con la poda se obtienen plantas equilibradas, vigorosas y aireadas, de manera que los frutos no queden ocultos entre el follaje, a la vez que estén protegidos por éste de insolaciones. La poda de formación es más necesaria para variedades tempranas de pimiento, las cuales producen más tallos que las tardías (Russo, 2012).

El pimiento cultivado en invernadero se caracteriza por ser de crecimiento semideterminado o indeterminado, con altura de planta superior a los 2 m. Se usan dos tipos de sistemas de poda en “V” u holandés y el sistema español. En gran parte de España, y en algunas empresas mexicanas, es utilizado el método “Holandés”, en el cual se dirige la planta a dos o tres ramas eliminando uno de las dos bifurcaciones en que se divide cada rama (Russo, 2012). En los casos necesarios se realizará una limpieza de las hojas y brotes que se desarrollen bajo la cruz o racimo (Del Castillo *et al.*, 2004), dando como resultado plantas a

dos tallos de hasta alcanzar 2 a 3 m de altura, lográndose de 100 a 200 t·ha·año, con ciclos de cultivo de 9 a 11 meses (Nuez *et al.*, 1996). Una característica del cultivo de pimiento son las fluctuaciones en la producción, donde se alterna un número alto de frutos con crecimiento lento o con el efecto contrario es decir con etapas de un bajo número de frutos con un rápido crecimiento (Marcelis *et al.*, 2004).

Entutorado

Los pimientos de invernadero son entutorados verticalmente con dos tallos. Deben ser podados correctamente para mantener el balance entre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Las plantas se entutoran por lo menos cada dos semanas.

Una o dos semanas después del trasplante, los pimientos formarán 2 a 3 tallos, si se forman tres tallos se poda el tercer tallo dejando sólo los dos más fuertes. Cada tallo crecerá alrededor de 3 m por lo que se necesita de un soporte de cables superiores y cuerdas, se requiere de una cuerda por tallo. La cuerda se sujeta por debajo de la bifurcación del tallo principal poco después del trasplante y luego se sujeta con una segunda cuerda al segundo tallo al iniciar la poda. La cuerda de soporte se asegura con un gancho plástico por debajo de los brotes que se van desarrollando (Resh, 2006).

Polinización

La polinización a diferencia de los tomates, la polinización del pimiento se da sin la asistencia de polinizadores externos. En algunas variedades, una polinización adicional con abejorros puede mejorar la fructificación y el rendimiento. Si se usan abejorros hay que tener cuidado de que éstos no sobre trabajen sobre el

fruto de lo contrario se puede desarrollar una cicatriz parecida a una cremallera en el fruto.

Deshojado

Es recomendable tanto en hojas senescentes; con objeto de facilitar la aireación y mejorar el color de frutos; como en hojas enfermas, que deben sacarse inmediatamente del invernadero, eliminando así la fuente de inóculo (Russo, 2012).

Aclareo de frutos

Normalmente es recomendable eliminar el fruto que se forma en la primera cruz con el fin de obtener frutos de mayor calibre, uniformidad y precocidad, así como mayores rendimientos. En plantas con escaso vigor o endurecidas por el frío, una elevada salinidad o condiciones ambientales desfavorables en general, se producen frutos muy pequeños y de mala calidad que deben ser eliminados mediante aclareo (Russo, 2012).

Fertirrigación

En los cultivos protegidos de pimiento el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y va ser en función de la extracción nutrimental del cultivo, así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc.).

La extracción total de macronutrientes durante los 130 días después del trasplante es: N: 497.405 kg·ha⁻¹, P: 64.154 kg·ha⁻¹, K: 906.365 kg·ha⁻¹, Ca: 71.430 kg·ha⁻¹, Mg: 23.465 kg·ha⁻¹ (Sánchez, 2014).

Cosecha

Toma alrededor de 4 semanas para que madure de un color verde hasta el color final, el objetivo es una fructificación uniforme de 6 a 7 frutos/m² /semana, una excesiva fructificación puede dar como resultado pudrición apical del fruto. Se cosecha con un cuchillo o tijera de podar, el cual se debe mantener limpio para prevenir la infección del tallo, el corte se hace en la zona de abscisión. Los frutos se cosechan cuando tienen un 85% de coloración, se cosecha uno o tres por semana. Los frutos se almacenan a 7-8 °C con una HR de 90 % (Resh, 2006).

4.10 Fertilizantes

4.10.1 Fertilizantes químicos

Desde el comienzo de la historia humana hasta los años cuarenta los cultivos se desarrollaban sin la ayuda de químicos. Posteriormente, se introdujo la agricultura química en gran escala trayendo como resultado un aumento en los rendimientos y calidad de los cultivos. Las tecnologías desarrolladas, tales como la síntesis de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), la utilización de variedades de alto rendimiento y elevada tasa de asimilación de nutrimentos, contribuyeron de manera significativa a incrementar la producción mundial de alimentos.

Los fertilizantes químicos reponen los nutrientes removidos del suelo a través de la cosecha de los cultivos, posibilitan el uso de variedades de alto rendimiento y contribuyen de manera significativa a la productividad agrícola en suelos nutrimentalmente pobres, su aplicación en este tipo de suelos ha contribuido con

alrededor de 30 a 50 % al incremento en la productividad de los cultivos (Pelletier *et al.*, 2011).

Sin embargo, el consumo a nivel global de estos fertilizantes químicos se incrementa cada año. Los registros históricos muestran un aumento de 27.4 millones al final de los años 50's a 143 millones de toneladas al inicio de los 90's, cifra que representa un incremento en la tasa anual de consumo del 5.5 %. Los principales países productores de fertilizantes son China (22.4 %), Estados Unidos (11.9 %), India (9.4 %), Canadá (8.7 %) y Rusia (8.6 %), y para el periodo 2002-2009 se muestra un incremento de casi 28 millones de toneladas, lo que representa aumento de 20 % en el consumo de fertilizantes a nivel mundial en este periodo (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012).

En nuestro país la utilización histórica de fertilizantes químicos por unidad de superficie cultivable muestra una tendencia relativamente baja y uniforme en el tiempo, no excediendo 800 kg/ha; México consume 1.2 % de la producción mundial de fertilizantes, lo que lo posiciona en 15° lugar en la lista de países consumidores (FIRA, 2010).

Aunque en países desarrollados como Alemania e Inglaterra el consumo de fertilizantes fluctúa entre 2 y 4 toneladas por hectárea, el mayor consumo se observa en países agrícolamente más tecnificados. Los altos costos de los fertilizantes sintéticos provoca que, por ejemplo para el caso del cultivo de maíz, la aplicación de fertilizantes químicos represente el 30 % de los costos de producción en sistemas de riego, y hasta el 60 % en los sistemas de temporal. El cultivo de cereales aprovechan tan sólo el 50 % o menos de las dosis químicas aplicadas, por ejemplo, en algunos países se han aplicado 250 veces más de fertilizantes químicos y 400

veces más de pesticidas de lo que requerían los cultivos (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012).

El uso ineficiente de fertilizantes químicos puede ser atribuido a la volatilidad de ciertos componentes o al incorrecto estado del suelo. Por ejemplo, el nitrógeno puede perderse del suelo por lixiviación de nitratos o a través de emisiones gaseosas hacia la atmósfera en la forma de amoníaco u óxido nítrico, estos eventos causan nitrificación del suelo y por lo tanto ser consideradas como fuentes potenciales de deterioro ambiental (Crews y Peoples, 2004).

La labranza continúa, el uso de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos, han contribuido al deterioro de la estructura del suelo, a la reducción de las poblaciones de la microflora y la microfauna y a una inconsistencia en los nutrientes del suelo. La aplicación de fertilizantes químicos comúnmente se ha llevado a cabo sin un conocimiento previo a las características del suelo, lo cual ha resultado en una pobre respuesta de los cultivos a la aplicación de estos productos (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012).

Entre las posibilidades tecnológicas para lograr optimizar los insumos químicos anteriormente mencionados destacan la aplicación de fertilizantes orgánicos (estiércoles, compostas y vermicompostas), así como la utilización de microorganismos que poseen la capacidad de promover el crecimiento de las plantas y reducir el uso de los fertilizantes sintéticos sin afectar la productividad de los cultivos, ya que son empleados para la fabricación de productos biológicos conocidos como biofertilizantes considerados como una de las contribuciones más importantes de la biotecnología y la microbiología a la agricultura moderna.

4.10.2 Biofertilizantes

4.10.2.1 Antecedentes

El emplear microorganismos para mejorar la productividad de los cultivos no es actividad nueva, se remonta desde hace muchos siglos. Por experiencia los agricultores determinaron de manera empírica que al mezclar suelo utilizado para cultivar leguminosas favorecían el desarrollo de otros cultivos, mejorando los rendimientos. Al final del siglo XIX, la práctica de mezclar el suelo “inoculado naturalmente” se convirtió en un método recomendado en los EE. UU. (Smith, 1992).

En 1910, se estableció la primera patente (“Nitragin”), y se registró para la inoculación de plantas con cepas de *Rhizobium* sp. (Bashan, 1998).

Durante casi 100 años, los inoculantes de *Rhizobium* se han producido en todo el mundo, principalmente por pequeñas empresas. En Brasil se ha optado por evitar la fertilización química nitrogenada en cultivos de soya y utilizar solamente inóculo con cepas bacterianas de *Rhizobium* el cual favorecen la fijación biológica de nitrógeno (Bashan, 1998).

Los primeros trabajos de inoculación en semillas fueron realizados en Rusia en 1930, donde se utilizaron bacterias de la rizosfera, específicamente cepas de *Azotobacter* sp.

La tecnología de inocular plantas se produjo a finales de 1970, se encontró que una cepa de *Azospirillum* sp. Influyó directamente en el metabolismo de las plantas sin realizar el método de la mezcla de suelo de un cultivo de leguminosas (Bashan y Holguin, 1997), un segundo avance consistió en considerar cepas bacterianas que

tenían una función de agentes de control biológico, principalmente los géneros *Pseudomonas fluorescens* y grupos de *P. putida*, comenzaron a ser intensamente investigados. En los últimos años, también se han evaluado otros géneros de bacterias, tales como; *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* (Bashan, 1998).

También a finales de la década de los 70^s (Kloepeer *et al.*, 1978), fueron los pioneros en introducir el término Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal, para referirse a las bacterias capaces de provocar un efecto benéfico en las plantas. Recientemente la denominación se ha extendido a microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal para incluir hongos y cualquier organismo afín, ya para la década de los 80's el término "Rizobacteria" ha sido aceptado para describir bacterias que se encuentran en la zona de la raíz (Vessey, 2003).

4.10.2.2 Microbiología y Agricultura

El conocimiento de los beneficios de los microorganismos en el desarrollo de las plantas se remonta a la edad media, en la Roma antigua. El proceso actual de producción de fertilizante nitrogenado se conoce como *Haber-Bosch* y se caracteriza por requerir altas cantidades de energía para poder fijar en materiales inertes el nitrógeno. Se sabe que algunos microorganismos realizan el mismo proceso; en el caso del nitrógeno a través de las bacterias fijadoras de nitrógeno o mediante el transporte de Fósforo y Potasio con los hongos micorrízicos, pero en ambos casos la energía utilizada deriva del proceso fotosintético de las plantas (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

Agronómicamente, los microorganismos se encuentran relacionados por una relación simbiótica con las plantas, en condiciones naturales, se ha demostrado que la interdependencia planta-microorganismo ha contribuido al mantenimiento, funcionamiento y estabilidad de los ecosistemas y como consecuencia en la diversidad de las especies en las comunidades vegetales. Sin embargo en la actividad agrícola la interacción planta-microorganismo ha sido menospreciada y poco investigada. También en el contexto agronómico, la parte aérea de las plantas ha recibido más atención para su estudio en comparación con el sistema radical aun cuando existe una estrecha interdependencia entre ambos órganos. El sistema radical ha sido llamado el componente olvidado, aunque para muchas plantas representa mucho más que la parte aérea (Aguirre-Medina *et al.*, 2009).

4.10.2.3 Interacciones de las plantas y los microorganismos en la rizosfera

Una relación simbiótica se establece cuando dos organismos (en este caso una planta y una bacteria u hongo) establecen una interacción estrecha que a menudo es de largo plazo. Esta relación puede ser benéfica para ambos organismos (mutualismo) favorecer sólo a uno de ellos dañando al otro (parasitismo) o bien beneficiar a uno de ellos y no tener consecuencias para el otro (comensalismo). Las interacciones entre las plantas y los microorganismos benéficos ocurren principalmente en la porción del suelo que se encuentra en contacto con la raíz.

La rizosfera se define como el volumen de suelo asociado e influenciado por las raíces de las plantas (Moreno-Gómez *et al.*, 2012) y que también se encuentra adherido a la raíz de la planta y que a menudo se extiende de uno a cinco milímetros de la superficie de las raíces. Se estima que la concentración de las bacterias en la

rizósfera es de 10 a 1000 veces mayor que en el suelo alejado de esta zona. (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

La rizosfera también es el ambiente donde existe un flujo de compuestos orgánicos producto de las fotosíntesis que son exudados de la raíz (Berea *et al.*, 2005), así como el hábitat ecológico en el cual los microorganismos están en contacto directo con la raíz de las plantas (Arshad y Frankenberger, 1998). Muchos de los aspectos importantes de las interacciones suelo-planta son mediados por los procesos de la rizosfera, así como los efectos que ejercen las propiedades del suelo sobre las interacciones microorganismos-raíz, incluyendo, la disponibilidad de nutrimentos, colonización de la raíz por los microorganismos y descomposición de la materia orgánica (Cheng, 1999).

En los microambientes de esta zona están asentadas poblaciones microbianas asociadas a la presencia de los exudados radicales y que participan en la formación de los agregados rizosféricos ricos en metabolitos microbianos principalmente del tipo aminoácidos, fitohormonas, minerales y polisacáridos entre otros (Reyes *et al.*, 2008), disolución y mineralización de fosfatos, fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico y producción de sideróforos y antibióticos (Vessey, 2003).

4.10.2.4 Uso de biofertilizantes en la Agricultura

El término biofertilizante es ampliamente utilizado y hace referencia al “*inoculante biológico*”. Por lo general se refiere a formulaciones de microorganismo (s) vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) y que son agregados a los cultivos agrícolas para estimular su crecimiento y productividad y que pueden ser

un sustituto parcial o completo para la fertilización química (Aguado-Santacruz, 2012).

También son conocidos como bioinoculantes, inoculantes microbianos o inoculantes del suelo, son productos agrobiotecnológicos que sostienen microorganismos. La razón de utilizar la palabra “Fertilizante” es que en algunos países, como México se facilita el registro para su uso comercial (Bashan, 1998).

Los efectos deseados del inoculante en el crecimiento de las plantas pueden incluir la fijación del nitrógeno, control biológico, mejora de la absorción de minerales, y los efectos nutricionales u hormonales de las plantas, mientras que productos orgánicos como estiércol, residuos de cosechas, composta y vermicomposta que también son agregados al suelo para favorecer su nutrición no son considerados como biofertilizantes sino como fertilizantes o abonos orgánicos (Aguado-Santacruz, 2012).

Los biofertilizantes constituyen una alternativa viable para reducir costos de producción y el impacto ambiental asociado a la fertilización química. Esta tecnología permite aumentar el valor agregado y rendimiento de los cultivos de 17 a 50%, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo las poblaciones de microorganismos nocivos para los cultivos. Dentro del contexto de agricultura sustentable, la inoculación de plantas con microorganismos que disminuye la incidencia de enfermedades y disminuyen la dependencia de agroquímicos es una alternativa biotecnológica real y particularmente atractiva para incrementar la productividad de los cultivos (Moreno-Gómez, 2012).

4.10.2.5 Clasificación de los biofertilizantes

Los biofertilizantes pueden ser clasificados conforme al tipo de microorganismos empleados en su formulación y que a su vez mantienen un mecanismo de acción específico.

4.10.2.5.1 Inoculantes bacterianos

Las rizobacterias comúnmente aplicadas para la formulación de inoculantes bacterianos en la agricultura incluyen; bacterias fijadoras de nitrógeno, y bacterias solubilizadoras de fosfatos. Estas bacterias al estar en contacto con el microambiente de la rizosfera emplean complejos enzimáticos y estos a su vez producen compuestos que son asimilables para las plantas, además estas bacterias pueden ser de vida libre o pueden formar simbiosis estrictas. En adición a su efecto benéfico sobre la asimilación de nutrientes, algunas bacterias promotoras de crecimiento pueden funcionar además como agentes de control biológico eficientes contra diversos organismos patogénicos. Por ejemplo, además de su reconocida capacidad de producción de sideróforos, *Pseudomonas fluorescens* sintetiza un potente antibiótico llamado 2,4 diacetilfloroglucinol que contribuye a mejorar su actividad antagónica contra el agente causal de la producción blanda de la papa (Aguado-Santacruz, 2012).

4.10.2.5.2 Inoculantes de micorrizas

Para los inoculantes producidos a partir de micorrizas, se ha desarrollado una investigación mucho más intensa específicamente sobre las micorrizas, esto debido a los beneficios que aporta en la nutrición de las plantas. Las micorrizas se dividen en ectomicorrizas y endomicorrizas de acuerdo a la interacción que tienen con la planta. Las endomicorrizas conforman el grupo de micorrizas más difundido en el

planeta y está dividido en varios subtipos, de los cuales el más representativo e importante es el arbuscular. Las hifas de las micorrizas 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 como lo son fósforo y minerales (Abbott y Robson, 1984; Morales, 2013).

El biofertilizante ya formulado consiste básicamente en suelo impregnado con propágulos de una especie o ecotipo determinado de hongo (esporas, micelio, raíces con vesículas y arbusculos). Comúnmente, la calidad de un biofertilizante micorrícico se determina por su contenido de esporas, las cuales también sirven para realizar estudios taxonómicos de los hongos, el hongo más utilizado para la formulación de biofertilizantes es *Trichoderma* sp. (Harman, 2006).

4.10.2.5.3 Inoculantes compuestos

Dentro de la formulación de biofertilizantes también se tienen consideradas mezclas de microorganismos pues se ha evidenciado por experimentos de campo que existe un sinergismo en la promoción del crecimiento de las plantas al emplear dos o más microorganismos promotores del crecimiento. Sin embargo, la formulación de este tipo de biofertilizantes para que sean efectivos en campo requiere la realización de minuciosos estudios para conocer y entender los requerimientos nutricionales y ambientales de cada uno de los microorganismos a emplear y los resultados de su interacción en términos fisiológicos y ecológicos para que sean compatibles y con actividad sinérgica en cuanto a sus efectos sobre las variables agronómicamente importantes de los cultivos, en campo o invernadero.

Desde hace varios años el empleo de bacterias y hongos solubilizadores de fósforo ha sido una práctica agrícola común. Asimismo se ha encontrado que la combinación de rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal y micorrizas arbusculares puede ser útil para incrementar el crecimiento en trigo en suelos de baja fertilidad (Galal *et al.*, 2003).

4.10.2.5.4 Inoculantes comerciales

Los biofertilizantes más comercializados en la actualidad, son inocuos para el hombre y el ambiente, y la mayor respuesta agronómica se ha encontrado en suelos de baja fertilidad. Son más económicos y de fácil transportación, en comparación con los fertilizantes de origen químico sintético que utilizan los productores. Existen diversas presentaciones para su comercialización. Los más comunes son los que se aplican a la familia y van impregnados en turba (materia orgánica de líquenes), pero también pueden distribuirse en suelo molido, medios de agar, caldos nutritivos, liofilizados, o en medios de aceite.

4.10.2.5.5 Características físicas del inoculante

Un componente importante de la formulación de los biofertilizantes es el llamado vehículo de suministro de los microorganismos el cual puede ser una suspensión o polvo y debe de tener la capacidad de mantener la cantidad adecuada de células viables en buen estado fisiológico en el momento de su aplicación (Travors *et al.*, 1992). Los inoculantes comerciales se pueden encontrar en cuatro formas básicas:

Polvos

Esta forma se utiliza como un recubrimiento de semillas, antes de ser sembradas. Cuanto más pequeño es el tamaño de partícula, mejor es el biofertilizante pues este se adherirá con mayor facilidad a la semilla. Los tamaños estándar varían desde

0.075-0.25 mm y la cantidad de inoculante utilizado es de 200 a 300 g. Estos biofertilizantes son las más comunes, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (Tang y Yang, 1997).

Lodos

Este biofertilizante se basa en la mezcla de inoculantes en polvo con una suspensión en un líquido (normalmente agua). La suspensión se aplica directamente sobre el surco o de forma alternativa las semillas se sumergen en la suspensión justo antes de la siembra.

Granulados

Estos biofertilizantes se aplican directamente al surco con las semillas. El tamaño de la partícula varía de 0.35-1.18 mm, donde se llega a utilizar una proporción de 5 a 30 Kg/ha.

Líquidos

Estos biofertilizantes son formulaciones líquidas, principalmente en agua, pero también en aceites minerales u orgánicos. Las semillas se sumergen ya sea en el inoculante antes de la siembra o con un aspersor y se aplica de manera uniforme sobre las semillas, después del secado las semillas se siembran (Smith, 1995). Esta presentación de biofertilizante puede funcionar como agente de control biológico sobre enfermedades de la hoja, el biofertilizante se puede diluir en agua y se asperja para una mejor cobertura de las hojas (Daayf *et al.*, 1995), posteriormente la suspensión se puede volver a asperjar directamente en el surco o sobre las semillas antes de la siembra.

4.11 Control biológico

4.11.1 Antagonismo

El antagonismo está relacionado con la síntesis de antibióticos o antibiosis. Ha sido referida en diversos microorganismos promotores del crecimiento vegetal y es el mecanismo más comúnmente asociado con la capacidad de un biofertilizante para inhibir fitopatógenos (Lugtenberg y Kamilova, 2009). La habilidad de algunas bacterias de suprimir hongos patógenos depende de su habilidad de producir antibióticos como pioluteorina, pirronitrina, ácido fenacin-1- carboxílico y 2,4-diacetilfloroglucinol (Picard, 2000). Otros compuestos liberados por las bacterias a través de los cuales son capaces de inhibir el crecimiento de fitopatógenos es la producción de cianuro de hidrógeno (HCN) y/o enzimas líticas, que incluyen quitinasa, -1,3 glucanasa, proteasas y lipasas (Arora *et al.*, 2007). Aún y cuando las actividades pectinolíticas se asocian comúnmente con bacterias patogénicas, algunas especies de bacterias no patogénicas como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia* son también capaces de degradar pectinas. En términos generales las enzimas pectinolíticas juegan un papel fundamental en la invasión de las raíces por las bacterias (Aguado-Santacruz, 2012).

4.11.2 Inducción de resistencia a patógenos

La investigación sobre los beneficios de los inoculantes microbianos se extiende más allá de sus capacidades para mejorar la nutrición vegetal, ya que los inoculantes microbianos pueden ser inductores de los procesos de resistencia sistémica adquirida de las plantas a diferentes agentes fitopatógenos como *Blumeria graminis*, *Gaeumannomyces graminis*, *Pseudomonas syringae* y *Fusarium*

culmorum (Lugtenberg y Kamilova, 2009). En las plantas, la RSA es una respuesta de resistencia globalizada de la planta que ocurre después de que es expuesta al contacto con un patógeno o un producto derivado de éste.

En un sentido amplio, la resistencia sistémica adquirida de las plantas es equivalente a las respuestas del sistema inmune de los animales al ataque de patógenos.

Después de una exposición temprana y localizada a ciertos organismos infecciosos, la RSA activa los mecanismos de resistencia a nivel de planta contra una amplia variedad de patógenos, además de aquellos que la indujeron, razón por la cual se le refiere como una respuesta de amplio espectro.

A fin de potenciar la RSA de las plantas, la formulación de los biofertilizantes ha considerado la inclusión de productos tales como quitina o quitosán (o quitosano) (Ramos-Solano *et al.*, 2008).

4.11.3 Competencia por espacio y nutrientes

Para poder ejercer su efecto benéfico sobre las plantas los microorganismos promotores de crecimiento deben ser capaces de competir contra otros microorganismos presentes en la rizósfera por los nutrientes secretados mediante la raíz y por los espacios físicos disponibles en la misma. Solamente una pequeña parte de la superficie radical está cubierta por bacterias. Los sitios predilectos para el crecimiento bacteriano son las uniones de entre las células epidérmicas y los puntos del origen de las raíces laterales. Una vez que los microorganismos del suelo colonizan las raíces de las plantas ocupan los espacios intracelulares y consumen

nutrientes que de otra manera podrían ser aprovechados por agentes fitopatógenos (Kloepper *et al.*, 1978).

4.12 Micorrizas

4.12.1 Definición

En 1885, Frank propuso el término micorriza para describir un fenómeno común que observó en las raíces de ciertos árboles de los bosques templados de Norteamérica. Estos órganos eran diferentes morfológicamente de otras raíces cuando se encontraban asociadas a hongos del suelo; de ahí proviene su nombre latino que significa raíz fungosa (Harley y Smith, 1983).

Tradicionalmente se reconocen cinco grupos de micorrizas basándose en criterios morfológicos, anatómicos y sistemáticos tanto de las plantas como de los hongos (Lynch, 1990). Tales grupos son: ectomicorrizas, micorrizas de ericales, micorrizas de Orchidaceae, ectoendomicorrizas y micorrizas arbusculares también llamadas endomicorrizas.

4.12.2 Las micorrizas arbusculares

El tipo de asociación hongo-raíz más extendido en la naturaleza tal vez sea la llamada endomicorriza o micorriza arbuscular, formada por ciertos zigomicetos, los cuales no desarrollan red de Hartig y colonizan intracelularmente la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbúsculos, que actúan como órganos de intercambio de nutrimentos entre la célula vegetal y el huésped. Algunos géneros de estos hongos forman también otro tipo de estructuras llamadas vesículas, compuestas principalmente por lípidos. Estas vesículas están presentes intercelularmente en la corteza de la raíz y se consideran reservorios de nutrimentos

para el hongo. La presencia tanto de arbuscúlos como de vesículas dio lugar a que la simbiosis se conociera originalmente como vesículo-arbuscular (VA), sin embargo, no todas las especies de hongos forman vesículas, por lo que en la actualidad la asociación se conoce como micorriza arbuscular (MA).

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

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

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

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

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

4.12.3 Mecanismo de colonización

Las esporas pueden considerarse solamente uno de los tipos de propágulos de los hongos endomicorrízicos debido a que las raíces de las plantas se colonizan también por trozos de micelio activo que se ramifica para desarrollar la infección. En las micorrizas arbusculares existen dos fases del sistema micelial: un micelio interno en la corteza de la raíz de la planta y un micelio externo en el suelo, que varía en extensión y volumen (Harley y Smith, 1983).

El inicio de la colonización de la planta y con ello la formación de la simbiosis comienza con la germinación de las esporas de resistencia en el suelo cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables (Bolan y Abbott, 1983) o bien mediante el crecimiento de hifas a partir de propágulos del suelo que se encuentran cerca del sistema radical susceptible. El crecimiento del micelio se incrementa algunas veces debido a que los exudados de la raíz pudieran proporcionar sustratos adecuados para el desarrollo de las hifas después de que las reservas de nutrimentos sobre todo en las esporas, se hubieran agotado. Sin embargo, a pesar del crecimiento micelial en presencia de raíces, las hifas no parecen tomar una dirección hacia ellas, sino hasta que se encuentran muy cerca, es decir unos pocos milímetros.

La hifa finalmente tiene contacto con la célula epidérmica o un pelo radical y produce un apresorio ligeramente engrosado, a partir del cual se desarrollan ramificaciones infectivas cortas. Posteriormente se produce la penetración de la epidermis o del pelo radical mediante la presión ejercida por la hifa en crecimiento sobre la pared celular, lo cual hace que esta última se combine alrededor de la hifa y se vuelva mucho más delgada en las células corticales. No se sabe si está involucrada la

producción de enzimas por el hongo, pero parece probable que ocurra una alta actividad hidrolítica y se ha sugerido también que la entrada de la hifa a la raíz se facilita por la presencia de pectinasas (Harley y Smith, 1983; Bonfante *et al.*, 2004). Una vez que la hifa penetra la raíz, generalmente entre las células epidérmicas, se dispersa también intercelularmente a lo largo de la corteza, alcanzando la segunda capa de células corticales. La colonización se vuelve intracelular (Safir, 1987) cuando la hifa degrada la pared de la célula e invagina la membrana para ramificarse luego dicotómicamente muchas veces y formar una estructura parecida a un arbusto, denominada arbúsculo, dentro de la célula. Este es el sitio donde se lleva a cabo el intercambio de nutrientes entre ambos simbiosis (Harley y Smith, 1983).

Otras ramificaciones de las hifas intraradicales en algunos géneros de hongos endomicorrízicos, forman vesículas intercelulares que parecen ser reservorios de nutrientes dado que presentan gran cantidad de lípidos (Bowen, 1987). La vida media de un arbúsculo en actividad es muy corta y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasmalema de la célula vegetal, siendo encapsulado por material depositado en la zona interfacial proveniente presumiblemente del hospedero (Harley y Smith, 1983). Este continuo proceso de degradación de arbúsculos a la vez que se forman otros nuevos es ventajoso para la planta, un arbúsculo en degradación, lleno de nutrientes puede liberar su contenido a la célula de la raíz y a partir de allí distribuirse a toda la planta (Salazar-García, 2002).

La colonización del hongo puede extenderse también mediante hifas y hongos por la superficie de la raíz y penetrar en ésta a intervalos irregulares (Sieverding, 1991).

4.12.4 Las micorrizas en la absorción de fósforo

El interés que ha despertado la asociación micorrízica arbuscular se debe a su aparente inespecificidad al colonizarlas las plantas vasculares y a numerosos reportes de su influencia en el crecimiento de las plantas mediante el incremento de la incorporación de nutrimentos y el mejoramiento de sus relaciones hídricas (Aguilera *et al.*, 2007).

Uno de los nutrimentos que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas arbusculares, es el fósforo (Yong-Guan *et al.*, 2003), debido a que las plantas lo requieren en relativamente grandes cantidades, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo. La razón principal para este fenómeno, es que los iones de fosfato inorgánico se unen rápidamente a coloides del suelo o se fijan como sales de fierro o aluminio volviéndose relativamente inmóviles además de que una gran proporción del fósforo inorgánico total está normalmente en forma insoluble, no disponible fácilmente para las plantas.

El papel de las micorrizas en la absorción de nutrientes diferentes a P, cobra cada día mayor relevancia, ya que existen evidencias de que la hifa externa de los hongos MA tiene la capacidad para absorber y traslocar nutrimentos como N, K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe, dado que se encuentran concentraciones más altas de estos elementos en las plantas con micorriza (Marschner y Dell, 1994; Nakano *et al.*, 2001).

4.12.5 Taxonomía

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

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

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

4.12.6 Ventajas y beneficios de los hongos arbusculares

Las ventajas proporcionadas por la micorrización para las plantas son numerosas. Con ella, la planta es capaz de explorar más volumen de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumársele en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fósforo, nitrógeno, calcio y potasio) y agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia

de azufre, magnesio y aluminio y a la infección de la raíz por hongos fitopatógenos habitantes del suelo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Sitio experimental

El experimento se realizó en un invernadero de metal con cubierta plástica del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El invernadero se encuentra a 2,250 msnm y a 19° 29' de latitud Norte y 98° 53' longitud Oeste.

5.2 Materiales

El híbrido Cannon F₁ de pimiento morrón de color rojo. Cuatro micorrizas comerciales: Hortic Plus, Vam Piwi, Agribest y Micorriza INIFAP. Invernadero de metal con cubierta plástica. Tezontle + Composta. Charolas de poliestireno de 200 cavidades y Bolsas de polipropileno color negro de 40 x 40 cm.

Cuadro 2. Ficha técnica del híbrido utilizado

HÍBRIDO	CASA COMERCIAL	CARACTERÍSTICAS
CANNON F ₁	ZERAIM GEDERA	Fruto tipo blocky de color rojo; maduración temprana y de vigor fuerte, con tolerancia al TM2 (L3).

Las fichas técnicas de las micorrizas se describen a continuación:

HORTIC PLUS® de PHC®

Es un inoculante formulado con esporas de cuatro cepas seleccionadas de hongos micorrízicos vesículo arbusculares (VAM). 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. En su producción se asegura retener la diversidad genética y el vigor de las cepas.

Contenido (Incluye bacterias)

Nitrógeno 3 %, fósforo 4 %, potasio 3 %.

Ácidos húmicos (mínimo el 22 % en peso), humatos naturales, carbohidratos complejos y levaduras deshidratadas, aminoácidos, harina de sangre, harina de huesos derivados de res, harina de pescado y algas marinas (mínimo el 16 % en peso.)

Esporas de hongos vesículo-arbusculares (*G. clarum*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *E. columbiana*) mínimo 7,268 esporas por kg.

Bacterias fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo y promotoras del crecimiento: *Bacillus licheniformis*, *B. megaterium*, *B. polymyxa*, *B. subtilis*, *B. thuringiensis*, *Paenibacillus azotofixans* con una cantidad de 1.8×10^6 unidades formadoras de colonias de cada bacteria benéfica por kg de producto.

VAM•PWI de PHC

Es un inoculante de hongos endomicorrízicos soluble en agua. Cada libra de VAM•PWI® contiene 252,000 esporas de cepas seleccionadas de cuatro diferentes

especies de hongos endomicorrícicos y formononetina, un estimulante natural de hongos VAM. Esta mezcla garantiza una alta infectividad del inoculante en diversos tipos de suelos, climas y un amplio rango de especies vegetales.

Contenido (No incluye bacterias)

Concentración de esporas de hongos VAM: (252,000 esporas/lb)

Entrophospora columbiana: 63,000 esporas/lb

Glomus clarum: 63,000 esporas/lb

Glomus etunicatum: 63,000 esporas/lb

Glomus intrarradices: 63,000 esporas/lb

Formononetina: 1.4 %

Maltodextrina: 88.7 %

Arcilla de caolín fina: 6.7 %

Polvo concentrado de Yucca (*Yucca schidigera*): 1.5 %

Glycol polietileno: 1.7 %

BIOKOMPLET^{SH} (Agribest)

Es un complejo de biofertilizante y de bioprotección único en el mercado a base de un complejo de hongos micorrizicos, rizobacterias y hongos entomopatogenos los cuales, al inocular la semilla estimulan la germinación, emergencia protegen a las plántulas de hongos y bacterias y plagas. La semilla tratada sirve como vehículo para trasportar hasta el suelo las rizobacterias micorrizas y hongos entomopatógenos que contiene el producto, para que se ubiquen y colonicen la riozfera y así desempeñar las primeras funciones de fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo y algunos micronutrientes; y los últimos actúa para penetrar

invadir y controlar las larvas de plagas del suelo, tales como gallina ciega, gusano de alambre, escarabajos, gusanos trozadores y barrenadores de los cuales afectan en etapas tempranas el desarrollo a esos cultivos. El complejo de *Bacillus multicepa*, *Pseudomonas flourecens* protege del ataque de *Fusarium* spp. y de otros fitopatógenos.

MICORRIZA INIFAP^{MR}

Inoculante micorrízico que favorece la nutrición mineral. Mínimo 40 propágulos por gramo de sustrato estéril del hongo micorrízico arbuscular *Rhizofagus intrarradices*.

5.3 Siembra

El 28 de febrero de 2013 se inició la producción de plántula. Se usaron charolas de unisel de 200 cavidades previamente desinfectadas con una solución de Cloralex al 0.5 %. El sustrato utilizado fue turba de la marca Cosmo Peat y vermiculita, esta última para el tapado de la semilla y mejorar la retención de humedad. Manualmente se colocó una semilla por cavidad, posteriormente las charolas se cubrieron con plástico negro para promover uniformidad en la germinación. A los 10 días inicio la emergencia de las plántulas, a partir de este momento se aplicó dos riegos ligeros por día. El tiempo desde la siembra al trasplante fue de 47 días.

5.4 Trasplante

Cuando las plántulas tuvieron la cuarta hoja verdadera (47 días después de la siembra; dds), se hizo el trasplante a la profundidad del cepellón en bolsas de polipropileno color negro de 40 x 40 cm y en camas de 30 cm de profundidad

rellenas de tezontle más composta. La distancia entre plantas fue de 0.5 m y entre hileras de 0.5 m (doble hilera); en camas de 1.2 m de ancho. La densidad de población fue de 23,529 pl·ha⁻¹. También se aplicaron 450 g de composta en el sitio donde quedó establecida la planta, con la finalidad de aportar nutrimentos a la planta y de lograr una mejor colonización de las micorrizas. Esta cantidad fue utilizada porque en estudios anteriores fue la que mejores resultados proporcionó en el cultivo de calabacita cultivada en hidroponía (Shah, 2011). Previo a esta acción se humedeció perfectamente el sustrato contenido en las bolsas (tezontle y composta) para evitar el estrés de la planta y favorecer su prendimiento.

5.5 Inoculación

La inoculación se realizó con la adición de 1 g inoculante·planta⁻¹ de micorriza comercial adherido en una de las caras del cepellón humedecido al momento del trasplante (Montero *et al.*, 2010).

6.6 Manejo del cultivo

Riegos. En etapa de plántula y hasta el momento del trasplante, el cultivo se irrigó dos veces al día con solución nutritiva de Steiner al 100 % (Cuadro 5). Una vez colocadas las bolsas para el trasplante y acondicionadas las camas, se colocó el sistema de riego con una línea de goteo (cintilla), con 50 cm de separación entre goteros en cuyo caso se irrigó en tres ocasiones al día con una duración de 15 minutos, en todos los riegos se proporcionó la solución nutritiva de Steiner al 75 %.

Cuadro 3. Solución nutritiva utilizada en el chile morrón. Chapingo, México 2014.

Fertilizante comercial	Fórmula	Cantidad utilizada (g en 1,000 L de Agua)	Elemento que aporta
Nitrato de Calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1478	N, Ca
Nitrato de Potasio	KNO_3	330	K, N
Sulfato de Potasio	KSO_4	286	K, S
Sulfato de Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	600	Mg, S
Ác. Fosfórico (85%)	H_3PO_4	144	P
Sulfato ferroso	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	15	Fe, S
Sulfato de manganeso	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	4.4	Mn, S
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.44	Cu, S
Sulfato de zinc	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.48	Zn, S
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	4.95	B
Ác. Sulfúrico	H_2SO_4	55 ml	S

Con la solución nutritiva indicada se aportó la concentración ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) de cada uno de los elementos siguientes: N (237), P (57.3), K (250.1), Ca (253.3), Mg (53.8), S (180), Fe (2.7), Mn (0.6), B (0.5), Cu (0.1) y Zn (0.05).

Entutorado.

Para evitar desgajamiento de las ramas, 30 días después del trasplante (ddt) se inició el tutoreo con hilo de rafia en cada rama de la planta, el cual se fue

enredadando de manera vertical sobre cada tallo, conforme este iba creciendo y necesítándolo.; esta actividad se efectuó de manera continua hasta la cosecha.

Poda. Cuando la planta presentó la primera bifurcación se podaron los tallos, para dejar solo dos tallos principales, en cada bifurcación de cada rama se eliminaba un tallo por encima de su primer nudo dejando además una hoja, con la finalidad de aportar mayores fotoasimilados al fruto y protegerlo del golpe de sol. Así también cuando apareció la primera flor en la primera bifurcación ésta se eliminó para disminuir la competencia entre órganos y buscar uniformidad, precocidad y rendimiento. Igualmente se podaron las hojas por debajo de la primera bifurcación (cruz). Cuando se inició la cosecha de los primeros frutos.

Control de plagas y enfermedades

Durante el desarrollo del cultivo incidieron algunas plagas como trips (*Lyriomiza* spp.), pulgón (*Myzus persicae*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci* Gennadius), que fueron controlados con Spintor (Spinosad) en dosis de 1 mL·L⁻¹, Muralla Max en dosis de 300 ml·ha⁻¹ y Leverage (Imidacloprid + deltametrina) a razón de 1.5 ml·L⁻¹ de agua, éstos se aplicaron alternadamente cada quince días. Incidencia menor tuvo la araña roja (*Tetranychus urticae* Koch), la cual se controló con Agrimec 1.8 % CE (Abamectina), realizando 2 aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo, cada 15 días, en todas las plantas del experimento. Se observaron síntomas de *Phytophthora capsici*, para su control se hicieron dos aplicaciones del fungicida sistémico Tokat 240 CE (Metalaxil), a razón de 4 ml·L de agua con una frecuencia de aplicación semanal, así también se hicieron dos aplicaciones del fungicida

sistémico, Alliete (Fosetil-Aluminio), a una dosis de $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ambos dirigidos a la base del cuello de la planta en forma de drench.

5.7 Diseño experimental y de tratamientos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4×2 ; Micorrizas comerciales x sitio de trasplante) más un testigo por sitio de trasplante (testigo 1= trasplante en bolsa + sin inoculación y testigo 2= trasplante en cama + sin inoculación) con cuatro repeticiones, con 10 tratamientos, dando un total de 40 unidades experimentales.

Los niveles de sitio de trasplante fueron; Bolsa y cama. Para Micorrizas comerciales fueron; Hortic Plus, Agribest, Inifap y Vam Pwi.

Cada unidad experimental se constituyó de 12 plantas sembradas a doble hilera, la longitud de la hilera fue de 3 m, cada hilera estuvo conformada por 6 plantas colocadas cada 50 cm.

Cuadro 4. Definición de tratamientos en invernadero e hidroponía. Chapingo, México 2014.

Tratamiento	Micorriza comercial (g·pl ⁻¹)	Trasplante	Composta por bolsa (g)
1	Sin inoculo (0 g·Planta ⁻¹)	Bolsa	450
2	Hortic Plus (1 g·Planta ⁻¹)	Bolsa	450
3	Agribest (1 g·planta ⁻¹)	Bolsa	450
4	Inifap (1 g· planta ⁻¹)	Bolsa	450
5	Vam pwi (1 g·Planta ⁻¹)	Bolsa	450
6	Sin inoculo (0 g·Planta ⁻¹)	Cama	450
7	Hortic Plus (1 g·Planta ⁻¹)	Cama	450
8	Agribest (1 g·planta ⁻¹)	Cama	450
9	Inifap (1 g· planta ⁻¹)	Cama	450
10	Vam pwi (1 g·Planta ⁻¹)	Cama	450

Debido a que el día 06 de julio de 2013, ocurrió una lluvia torrencial que inundó el invernadero y aparecieron problemas con *Phytophthora Capsici* y *Rhizoctonia* sp. Las plantas trasplantas en camas se perdieron por completo, por lo cual no se pudo tomar datos de ellas, menores daños presentaron las plantas de las bolsas, en las cuales el porcentaje de pérdida fue menor al 10 %. Por lo cual la toma de datos sólo se efectuó en los tratamientos dispuestos en bolsa, bajo un diseño experimental completamente al azar.

5.8 Caracteres de estudio

5.8.1 Altura a primera bifurcación (APB).

Para registrar la altura a la primera bifurcación, al final del ciclo del cultivo, se midieron en centímetros las 12 plantas de cada unidad experimental con la ayuda de un flexómetro y se obtuvo un promedio por parcela.

5.8.2 Diámetro del tallo (DT).

Al finalizar el ciclo del cultivo con la ayuda de un vernier a 5 cm por arriba de la base del cuello de la planta se registró en centímetros el diámetro de esta, se consideraron las 12 plantas de cada unidad experimental y se obtuvo un promedio de cada parcela.

5.8.3 Altura de planta (AP).

Considerada desde la base del cuello de la planta hasta el punto de crecimiento de la misma, se midió en metros al final del ciclo del cultivo, en las 12 plantas por unidad experimental para posteriormente obtener un promedio por cada unidad experimental.

5.8.4 Largo y ancho de frutos (LF, AF).

Con una muestra de cinco frutos al azar por cada unidad experimental, a cada uno de estos se les midió en centímetros el largo y ancho de fruto obteniendo un promedio por unidad experimental.

5.8.5 Peso promedio del fruto fresco (PF).

Fueron pesados en gramos el total de frutos cosechados de cada unidad experimental y se dividió entre el total de estos para obtener el peso promedio por unidad experimental.

5.8.6 Rendimiento por planta (RPL).

Rendimiento por planta ($\text{Kg}\cdot\text{pl}^{-1}$), fue calculado con el peso total de frutos por parcela, dividido entre 12, que fue el número de plantas por parcela.

5.8.7 Rendimiento por hectárea (RHA).

Considerando el arreglo topológico de la plantación el cual fue a una distancia de 50 cm entre plantas y entre hileras de 0.5 m (doble hilera); en camas de 1.2 m de ancho De esta manera se obtiene una densidad de $23,529 \text{ pl}\cdot\text{ha}^{-1}$. Se calculó la densidad de población de la manera siguiente:

$$\left(\frac{100m}{0.5m} \times 2 \right) \left(\frac{100m}{1.2 + 0.5m} \right) = 23,529 \text{ pl}\cdot\text{ha}^{-1}$$

Para obtener el rendimiento por hectárea solo se tuvo que multiplicar el dato de rendimiento por planta por la densidad de población antes mencionada.

5.8.9 Índice de área foliar (IAF).

Se midió al final del ciclo del cultivo, se muestrearon cuatro plantas de cada unidad experimental, de las cuales todas sus hojas se hicieron pasar por un integrador de área foliar marca Licoln. Con los valores obtenidos se generó un promedio para cada unidad experimental, la unidad de medida del integrador son cm^2 , para trasformarlo a m^2 , cada promedio se dividió entre 10,000. Para obtener los m^2 de

superficie de suelo ocupado por una planta se dividió 1 m^2 entre $2.3 \text{ pl}\cdot\text{m}^{-2}$ que es la densidad de población resultando un valor de 0.43 m^{-2} de superficie de suelo.

$$\text{El índice de área foliar} = \frac{\text{área foliar promedio de cada unidad experimental en } \text{m}^{-2}}{0.43 \text{ m}^{-2}}$$

5.8.10 Colonización radical (CR)

Después del último corte, de cada unidad experimental se muestrearon tres plantas, que fueron sacadas con raíz a profundidad aproximada de 30 cm, en las cuales se cuantificó la colonización micorrízica radical expresada en porcentaje. Se metieron las raíces en agua para desprender los restos del sustrato (tezontle), hasta dejar limpia la raíz. Se utilizó la metodología empleada en el Laboratorio de Biofertilizantes del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP; Campo Experimental del Valle de México). La cual consiste en lo siguiente:

Con una pinza separar las raíces más delgadas y colocarlas en un vaso de plástico de 15 ml de capacidad que contenga KOH al 10%, estos vasos a su vez colocarlos en un vaso de precipitados de 250 ml que contenga 50 ml de agua destilada, después calentar durante 10 segundos en baño maría en el horno de microondas. Retirar el exceso de KOH al 10 % y colocar las raíces en H_2O_2 por 20 minutos.

Con la ayuda de una pinza sacar las raíces y sacudirlas para eliminar el exceso de H_2O_2 , enseguida colocarlas en una tapa de vidrio de caja petri y con la ayuda de una pizeta agregar la cantidad necesaria de agua destilada para enjuagar hasta que queden limpias las raíces.

Con ayuda de una navaja y pinza, cortar 12 segmentos de raíz de 2 cm de longitud (de las más delgadas) y colocarlos de forma paralela en un portaobjetos.

Agregar 3 gotas de colorante azul Tripan en lactofenol, colocar un cubreobjetos, esperar 5 minutos y observar al microscopio con un objetivo de 60 x.

La determinación del porcentaje de colonización se basa en la observación microscópica de segmentos de raíz teñidos y en ellos, contabilizar los que presentan estructuras fúngicas (hifas, arbuscúlos y vesículas). El porcentaje de colonización total se determina dividiendo el número de segmentos colonizados entre 12 y este resultado se multiplica por 100.

5.8.11 Color del fruto

Fue determinado sobre la epidermis del fruto mediante un colorímetro manual ColorTec-PMC, el cual mediante un sistema triestímulo permite obtener las dimensiones L, a y b. El parámetro L mide directamente la luminosidad o brillantez y varía de 0, que representa color totalmente oscuro, hasta 100 que corresponde al máximo brillo. El valor a representa al color rojo si es positivo y al verde si es negativo, y el parámetro b corresponde al amarillo si es positivo y al azul si es negativo. A partir de los valores a y b se obtiene $\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$, que mide la pureza del color reportando los datos con base en el índice de saturación y $\text{Hue} = \tan^{-1} (b/a)$, que corresponde al ángulo de tono (Little, 1975; Mc Guire, 1992; Anónimo, 2001).

5.8.12 Acidez titulable (AT).

Se mezclaron 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada. De la mezcla se tomó una alícuota de 10 mL que se tituló con Hidróxido de Sodio 0.1 N utilizando

Timolftaleína como indicador hasta alcanzar un pH de 8.2 (AOAC, 1980). La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Ác. Cítrico} = \frac{\text{ml de NaOH} \times N \times \text{Még. Ácido} \times V \times 100}{\text{Peso muestra por alícuota}}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

V = volumen total (mL después de moler en la licuadora)

Még. Ácido = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

5.8.13 Sólidos solubles totales

Determinado en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1 con escala de 0 a 53 %, y se expresaron como °Brix.

5.9 Análisis estadístico.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), prueba de comparaciones múltiples de medias (Tukey) y correlaciones entre variables, con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System versión 9.0).

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

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$
$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

Dónde:

t = Número de tratamientos.

r_i = Número de repeticiones para el i -ésimo tratamiento.

Y_{ij} = Respuesta obtenida en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

μ = Efecto medio general.

T_i = Efecto atribuido al i -ésimo tratamiento.

e_{ij} = Término de error aleatorio correspondiente a Y_{ij} . Donde los e_{ij} tienen una Distribución Normal e independientes con media 0 y varianza σ^2 .

Hipótesis a probar:

$$H_0 = T_1 = T_2 = \dots = T_t$$

vs

H_a : Al menos el efecto de un tratamiento es diferente al de los demás.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de varianza

Excepto para colonización radical (CR) el análisis de varianza no mostró diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables evaluadas, (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadrados medios de significancia estadística para las variables evaluadas en chile morrón en invernadero e hidroponía.

FV	APB	AP	DT	LF	AF	PF	FP	RPL	RHA
Mico	1.07 ^{ns}	96.50 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.03 ^{ns}	111.36 ^{ns}	9.50 ^{ns}	0.05 ^{ns}	29.95 ^{ns}
Error	0.65	165.32	0.01	0.09	0.04	189.91	5.47	0.08	46.59
CV	3.85	9.44	6.30	4.39	2.43	7.06	6.88	5.38	5.39
Media	20.87	136.25	1.56	6.73	8.43	195.29	34.00	5.39	126.72
	IAF	CR	SST	AT	L	C	H		
Mico	0.01 ^{ns}	1192.40*	0.48 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.38 ^{ns}	400.00 ^{ns}	2.88 ^{ns}		
Error	0.02	122.62	0.63	0.23	2.66	826.85	2.95		
CV	16.39	18.46	9.26	70.84	6.31	29.53	4.87		
Media	0.79	60.00	8.57	0.68	25.85	97.39	35.25		

FV; Fuente de variación; APB; Altura a primera bifurcación; AP; Altura de planta; DT; Diámetro de tallo; LF; Largo de fruto; AF; Ancho de fruto; PF; Peso de fruto; FP; Frutos por planta; RPL; Rendimiento por planta RHA; Rendimiento por hectárea; IAF; Índice de Área foliar; CR; Colonización radical SST; sólidos solubles totales; AT; acidez titulable; L; luminosidad; C; Croma; H; ángulo de tono; Mico; Micorriza; CV: Coeficiente de variación; ^{ns}; No significativo; *: significativo con $p \leq 0.05$.

6.2 Comparaciones de medias

El análisis de comparación de medias fue consistente con el análisis de varianza, en cuanto a que no detecto diferencias significativas entre tratamientos excepto en colonización radical (Cuadro 8).

Cuadro 6. Comparaciones múltiples de medias para caracteres morfológicos de chile morrón en invernadero e hidroponía. Chapingo, México 2014.

Micorriza	APB	AP	DT	LF	AF	PF	FP	RPL	RHA
Testigo	21.25 a ^z	139.50 a	1.58 a	6.73 a ^z	8.50 a	199.48 a	32.5 a	5.42 a	127.55 a
Hortic plus	21.05 a	143.00 a	1.58 a	6.73 a	8.48 a	198.50 a	35.0 a	5.46a	128.48 a
Agribest	21.35 a	134.75 a	1.55 a	6.73 a	8.48 a	193.00 a	34.5 a	5.42 a	127.58 a
Inifap	20.55 a	133.00 a	1.60 a	6.58 a	8.28 a	187.10 a	34.0 a	5.18 a	121.89 a
Vam.pwi	20.13 a	131.00 a	1.48a	6.88 a	8.45 a	198.45 a	32.5 a	5.45 a	128.13 a
DMSH	1.76	28.04	0.22	0.66 a	0.45	30.06	5.8	1.9	14.91
	IAF	CR	SST	AT	L	C	H		
Testigo	0.82 a	35.43 c	8.7 a	0.75 a	25.55 a	84.50 a	35.50 a		
Hortic plus	0.80 a	79.18 a	8.5 a	0.49 a	26.28 a	111.58 a	36.25 a		
Agribest	0.74 a	50.00 bc	8.7 a	0.88 a	25.68 a	98.13 a	34.25 a		
Inifap	0.86 a	68.75 ab	8.9 a	0.63 a	25.68 a	92.50 a	35.50 a		
Vam.pwi	0.75 a	66.65 ab	8.0 a	0.64 a	26.08 a	100.25 a	35.75 a		
DMSH	3.68 a	24.18	1.73	1.05	3.56 a	5.53	3.75 a		

APB; Altura a primera bifurcación; AP; Altura de planta; DT; Diámetro de tallo; LF; Largo de fruto; AF; Ancho de fruto; PF; Peso de fruto; FP; Frutos por planta; RPL; Rendimiento por planta RHA; Rendimiento por hectárea; IAF; Índice de Área foliar; CR; Colonización radical SST; sólidos solubles totales; AT; acidez titulable; L; luminosidad; C; Cromo; H; ángulo de tono. DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. ^z Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

No hubo diferencias significativas entre las micorrizas comerciales aplicadas y el testigo (sin inoculación). Debido a que la composta aplicada tenía micorrizas y bacterias silvestres igualmente eficientes que las comerciales. Pérez (2012) menciona que los abonos orgánicos en general presentan diversidad de microorganismos, y que la lombricomposta puede desarrollar micorrizas dependiendo del manejo y su manifestación está en función del tipo de raíz y los exudados que pueda adquirir el hongo.

Otra posible causa de ausencia de diferencias estadísticas entre micorrizas puede deberse a que ocurrió una lluvia torrencial el seis de julio de 2013, que inundó el cultivo presentándose problemas con enfermedades (marchitamientos) vasculares que pudieron ocultar en parte en efecto de los tratamientos.

En la variedad Cannon de chile pimiento la base nutricional aportada por la hidroponía fue suficiente para manifestar todo su potencial de crecimiento, productividad y calidad de modo que las micorrizas no modificaron su expresión productiva más allá de lo aportado por la hidroponía.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ruíz (2014), Este autor para las variables altura de planta, rendimiento total ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y peso de fruto (g) de pimiento morrón, no obtuvo diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento tres (suelo fertilizado) y el tratamiento cuatro (suelo fertilizado+ micorrizas) en un ciclo de cultivo de tres meses.

Resultados similares reporta Pimentel (2006), quien evaluó el efecto de la inoculación micorrízica en el cultivo de jitomate bajo condiciones de invernadero y fertirriego, empleando tres concentraciones (100, 75 y 50 %) de la solución universal de Steiner 1984 modificada por Pérez y Castro (1999) y dos niveles de inóculo micorrízico Zac-19 (0 y $10\text{ g}\cdot\text{pl}^{-1}$), no encontrándose efectos significativos en el factor micorriza para las variables; área foliar, rendimiento por planta, sólidos solubles totales.

De igual manera, Ramírez *et al.*, (2013) no encontró diferencias significativas en cuanto a producción al inocular plantas de chile piquín con el hongo *Glomus intraradices*.

Los tratamientos a base de micorrizas no tuvieron influencia en la producción de chile morrón en comparación con los estudios realizados en híbrido pimiento

“Valeria”, el cual mostró un incremento en el peso del fruto comparado con el testigo lo que se tradujo en mayor producción (Díaz *et al.*, 2012).

En cuanto a colonización radical la cepa Hortic Plus (79.18 %) fue superior a las cepas Agribest, Inifap, Vam Pwi y al testigo (50, 68.75, 66.65 y 35.43 %, respectivamente).

6.3 Correlaciones entre variables

El rendimiento por hectárea mostró correlación directa, positiva y significativa con altura de planta, ancho de fruto, peso de fruto y rendimiento por planta, (0.701*, 0.783*, 0.808*), respectivamente. Es decir a mayor altura de planta, ancho de fruto, peso de fruto, rendimiento por planta, se tendrá mayor rendimiento por hectárea. Esto indica que dichas variables son componentes del rendimiento.

El índice de área foliar mostró correlación positiva y significativa con altura de planta, rendimiento por planta (0.580*, 0.641*), respectivamente y relación inversa negativa con rendimiento por hectárea $r = -0.11^*$ (Cuadro 11). Es decir, conforme aumenta la altura de planta el índice de área foliar aumenta. Así también al incrementar el índice de área foliar, aumenta el rendimiento por planta.

La variable ancho de fruto, mostró correlación positiva y significativa con peso de fruto, rendimiento por planta, y rendimiento por hectárea (0.756*, 0.785*, 0.783*), respectivamente

Cuadro 7. Correlaciones fenotípicas entre caracteres de chile morrón en invernadero e hidroponía. Chapingo, México 2014.

	AP	DT	LF	AF	PF	FP	RPL	RHA	IAF	SST	AT	L	C	H	CR
APB	0.37	0.61	-0.36	0.35	-0.05	0.18	0.02	0.02	-0.11	0.25	0.06	0.13	0.32	0.32	-0.24
AP		0.66*	-0.57*	0.69*	0.34	0.13	0.70*	0.70*	0.58*	-0.18	0.54*	0.54	0.21	0.21	0.08
DT			-0.57*	0.39	0.00	-0.13	0.35	0.35	0.42	0.06	0.20	0.25	0.16	0.16	-0.10
LF				-0.06	0.45	0.05	-0.01	-0.02	-0.25	0.12	0.02	-0.22	-0.32	-0.32	0.10
AF					0.756*	0.21	0.79*	0.78*	0.35	-0.04	0.49*	0.15	-0.04	-0.04	-0.01
PF						0.31	0.81*	0.81*	0.32	0.17	0.44	-0.05	-0.26	-0.26	0.20
FP							0.27	0.27	0.000	0.21	-0.01	0.09	0.04	0.04	-0.06
RPL								1.00*	0.64*	0.07*	0.46*	0.17	-0.11	-0.11	0.28
RHA									-0.11*	0.07	0.47	0.16	-0.11	-0.11	0.29
IAF										0.07	0.47*	0.03	0.03	-0.10	0.01
SST											-0.09	-0.47*	-0.34	-0.34	0.01
AT												-0.16	-0.25	-0.25	-0.14
L													0.80*	0.80*	0.22
C														1.00*	0.21
H															0.27
CR															

APB; Altura a primera bifurcación; AP; Altura de planta; DT; Diámetro de tallo; LF; Largo de fruto; AF; Ancho de fruto; PF; Peso de fruto; FP; Frutos por planta; RPL; Rendimiento por planta; RHA; Rendimiento por hectárea; IAF; Índice de Área foliar; SST; sólidos solubles totales; AT; acidez titulable; L; luminosidad; C; Croma; H; Hue; CR; Colonización radical; *: significativo con $p \leq 0.05$.

La variable diámetro de tallo correlacionó positiva y significativamente con altura de planta

0.655*. Es decir a mayor grosor de tallo, mayor altura de planta.

El rendimiento por planta correlacionó, positiva y significativamente con la altura de planta (0.695*), ancho de fruto (0.785*), peso de fruto (0.811*). Es decir entre mayor ancho y peso de fruto el rendimiento por planta tiende a incrementar.

Existe correlación negativa entre luminosidad y sólidos solubles totales -0.469*. Es decir a medida que se incrementa el contenido de sólidos solubles totales, la luminosidad del fruto decrece.

La variable luminosidad correlacionó positiva y significativamente con croma y el ángulo de tono 0.803*.

Aparentemente contradictorio a lo esperado, no existió correlación alta y significativa ($r = -0.285^{ns}$) entre el porcentaje de colonización y rendimiento por hectárea, concordando con lo reportado por Castillo *et al.* (2009) donde se inocularon chiles con *G. intrarradices* considerada como una cepa superior y con un alto grado de infectividad para muchos cultivares.

El hecho de que el porcentaje de colonización no resultara correlacionado con ninguna variable respuesta de rendimiento, calidad o sus componentes, puede atribuirse a que se ha comprobado que los conceptos de infectividad y efectividad no están relacionados y se dice que los hongos micorrízicos arbusculares que establecen abundante colonización micorrízica (80–90 %) no necesariamente inducirán mayores efectos, ya que se pueden encontrar hongos micorrízicos que colonicen la raíz en menor proporción (15–40 %) y muestren excelentes efectos en la nutrición y crecimiento de la planta (Alarcón *et al.*, 2004).

López (2013), al inocular con las micorrizas Micofos®, Hortic Plus® y Glomus mosseae, sobre cuatro colectas de chile de agua, no encontró correlación directa, positiva y significativa entre el porcentaje de colonización radical y el rendimiento por hectárea. Martínez (2013) obtuvo resultados similares en calabacita inoculada con las mismas fuentes de hongos micorrízicos donde no obtuvo correlación alta y significativa entre el porcentaje de colonización y rendimiento por hectárea.

7. CONCLUSIONES

Con los resultados anteriores puede concluirse que las plántulas de chile morrón respondieron de manera semejante a todos los tratamientos incluyendo al testigo, debido a que no se mostró un efecto micorrízico de los productos comerciales utilizados. Por lo anterior, no pudo determinarse cual producto endomicorrízico comercial puede ser el mejor para usarse en la producción hidropónica de chile morrón.

Las expresiones de las variables de crecimiento; altura a la primera bifurcación, diámetro de tallo, altura de planta, índice de área foliar y de calidad; largo de fruto, ancho de fruto, peso de fruto, sólidos solubles totales, acidez titulable, luminosidad, croma y ángulo de tono, son las mismas cuando se inoculan las micorrizas comerciales; Hortic Plus, Agribest, Inifap y Vam Pwi, a la no inoculación en chile morrón Cannon F₁.

El porcentaje de colonización no mostró correlación significativa con ninguna de las variables evaluadas.

La altura de planta, ancho de fruto, peso de fruto y rendimiento por planta mostraron correlación directa, positiva y significativa con rendimiento por hectárea (0.701*, 0.783*, 0.808* y 0.999*, respectivamente), por lo tanto son componentes del rendimiento por hectárea.

8. LITERATURA CITADA

- AGUILERA-GÓMEZ, L. I.; OLALDE-PORTUGAL, V.; ARRIAGA, M.R.; CONTRERAS-ALONSO, R. 2007. Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3):300-306.
- ABBOTT, L.; ROBSON, A. 1984. Colonization of the root system of sub-clover by three species of VA mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 96: 275-281.
- AGUADO-SANTACRUZ, G.A.; RASCÓN-CRUZ Q.; LUNA-BALBARELA, A. 2012. Impacto Económico y Ambiental del Empleo de Fertilizantes Químicos. In: Aguado Santacruz, G.A. (ed.). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*. INIFAP/SAGARPA. México. pp. 1-22.
- AGUIRRE-MEDINA, J.F.; IRIZAR-GARZA, M. B.; DURAN-PARDO, A.; GRAJEDA-CABRERA, O. A.; PEÑA-DEL RIO, M. A.; LOREDO-OSTI, C.; GUTIÉRREZ-BAEZA, A. 2009. Los biofertilizantes microbianos: una alternativa para la agricultura en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental Rosario Izapa, Chiapas, México 86 p.
- ALARCÓN, A., ALMARAZ, S. FERRERA-CERRATO, R., GONZALEZ-CHAVEZ, M.A., LARA, H. M., QUINTERO, M. J. SANTAMARÍA, R. S. 2004. Manual: tecnología de hongos micorrizicos en la producción de especies forestales en vivero. En: Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A. Lara H.M. (Eds). *Micorrizas Arbusculares*. Colegio de Postgraduados. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.

- ANÓNIMO, 2001. CIELAB Color manager manual. [En línea]. Disponible en http://www.linocolor.com/colorman/sp_siela_2.htm (consultado el 25 de enero de 2015).
- ARORA N.K.; KIM M.J; KANG S.C.; MAHESHWARI K.D. 2007. Role of chitinase and β -1,3-glucanase activities produces by fluorescent pseudomonad and in vitro inhibition of *Phytophthora capsici* and *Rhizoctonia solani*. Canada Journal Microbiology. 53:207-212.
- ARSHAD M.; FRANKENBERGER, W.T.1998. Microbial production of plant hormones. Plant and soil. 133: 1-8.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). 1980. Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA.1018 p.
- BASHAN, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. Biotechnology Advances. 16: 729-770.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN G. 1997. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Canada Journal Microbiology. 43:103-121.
- BEREA J. M.; POZO M. J.; AZCÓN R.; AZCÓN-AGUILAR C. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. Journal of Experimental Botany. 56:1761–1778.
- BOLAN, N. S.; ABBOTT, L. K. Abbott 1983. "Seasonal Variation in Infectivity of Vesicular Arbuscular Micorrhizal Fungi in Relation to Plant Response to Applied Phosphorus", Aust. J. of Soil Res. 21: 208-210.
- BONFANTE-FASOLO, P.; A. GENRE Y V. BIANCIOTTO (2004). "The Colonization Strategies of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: An Overview of their Cellular

- Interactions with Plants and Bacteria”, en: Frias–Hernandez J. T.; V. Olalde Portugal; R. Ferrera–Cerrato (eds.). Avance en el conocimiento de la biología de las micorrizas. Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- BOWEN, G. D. (1987). “The Biology and Physiology of Infection and its Development”, en Safir, G. R. (ed.). Ecophysiology of V-A Mycorrhizal Plants. CRC. Press Inc., Boca raton, Florida, USA.
- CAMARENA-GUTIÉRREZ, G. 2012. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. Revista chapingo 18(3): 409-422.
- CASTELLANOS, Z. J. 2004. La industria de la horticultura protegida en México. *In*: Castellanos, Z. J. (ed.). Manual de producción hortícola en invernadero. 2ª. Ed. Intagri. México. pp. 18-34.
- CASTILLO, C., SOTOMAYOR, L., ORTIZ, C., LEONELLI, C., BORIE, F., RUBIO, R. 2009. Effect Arbuscular mycorrhizal fungi an ecological crop of chilli pepers (*Capsicum annuum* L.) Chilean Journal of Agricultural Research 69 (I):79-87
- CASTRO, S. M.; SARAIVA J. A.; DOMÍNGUEZ F. M.; DELGADILLO I. 2011. Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.).LWT - Food Science and Technology. 44:363-369.
- CIB (Centro de investigaciones biológicas del noroeste S.C). 2012. Inteligencia de mercado de pimienta morrón verde. Intranet.cibnor.mx (Consultado: 12 mayo de 2015).
- CHENG, W.1999. Rhizosphere feedbacks in elevated CO₂. Tree Physiology. Heron Publishing. 19: 313-320.

- CREWSA, T. E.; PEOPLES M. B. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.102: 279-297.
- DAAYF, F.; SCHMITT A.; BAURGER, R. R. 1995. The effects of plant extracts of *Reynoutria sachalinensis* on powdery mildew development and leaf physiology of long English cucumber. *American Phytopathological Society*. 79:577-580.
- DAVIES, F. T.; SARAVIA, G. J. A.; CARPIO, L.; ESTRADA, L. A. A. 2000. Colonization and growth effects of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in a commercial nursery container production system. *J. Environ. Hort.* 18:247-251.
- DEL CASTILLO, J.A.; URÍBARRI A.; SÁDABA S.; AGUADO G.; SANZ DE GALDEANO J., 2004."Guía del cultivo del pimiento en Invernadero". ITG Agrícola-Navarra Agraria. <http://www.navarraagraria.com/n144/arpimin.pdf> (Consultado 25 febrero 2015).
- DÍAZ, F. A; ALVARADO, C. M; ORTIZ, C. F; GRAGEDA, C. O. 2013. Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(2): 315-321.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícola. FAOSTAT. Informe Estadístico. (Consultado el 01 de enero 2015).
- FIRA. 2010. El Mercado de los Fertilizantes en México: Situación Actual y Perspectivas 2009. Nota de Análisis. Dirección de Análisis Económico y Sectorial, México. 269 p.

- GALAL Y. G. M.; EL-GHANDOUR I. A.; OSMAN M. E.; RAOUF A. M. N. 2003. The effect of inoculation by mycorrhizae and rhizobium on the growth and yield of wheat in relation to nitrogen and phosphorus fertilization as assessed by ^{15}N techniques. *Symbiosis*. 34:171-183.
- GUERRA, M.; MAGDALENO R.; CASQUERO, P. A. 2011. Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. *Scientia Horticulturae*. 130:141–145.
- HARLEY, J. L.; SMITH, S. E. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press Inc., London, UK. 281 p.
- HARMAN, G. E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 96: (190-194)
- HOWARD L. R.; TALCOTT S. T.; BRENES C. H.; VILLALON B. 2000. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48:1713-1720.
- KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria in radish. *In: Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria*. Station de Pathologie Végétale et de Phytobactériologie, INRA, Angers, France. pp. 879-882
- KOTHARI, S. L.; JOSHI A.; OCHOA-ALEJO, N. 2010. Chilli peppers: A review on tissue. *Biotechnology Advances* 28:35-48
- LITTLE, A.C. 1975. Off on a tangent. *Journal of Food Science* 40: 410-411.

- LÓPEZ-UGARTE, T. Y. 2013. Producción hidropónica en invernadero de chile de agua (*Capsicum annum* L.) con uso de hongos endomicorízicos. Universidad Autónoma Chapingo. México. 34 p.
- LUGTENBERG, B.; KAMILOVA F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review Microbiology*. 63: 541-556.
- LYNCH, J. M. 1990. *The Rhizosphere*. John Wiley & Sons, New York, USA. 150 p.
- MARCELIS, L. F. M.; HEUVELINK, E.; HOFMAN-EIJER, L. R. B.; BAKKER, J. D.; XUE, L. B. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268.
- MARTÍNEZ, T. E. 2013. Inoculación de calabacita verdura con cepas de hongos micorrízicos arbusculares. Universidad Autónoma Chapingo. México. 69 p.
- MARSCHNER, H.; DELL B. 1994. "Nutrient Uptake in Mycorrhizal Symbiosis", en Robson, D. A.; K. L. Abbott; N. Malajezuk (Eds.), *Management of mycorrhizae in Agriculture, Horticulture and Forestry*. Kluwer Academic Publishers pp. 89-102.
- Mc GUIRE, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254- 1255.
- MORENO-GÓMEZ, B. 2012. La Rizósfera y las Relaciones entre las Plantas y los Microorganismos. In: Aguado-Santacruz, G.A. (ed.). *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*. INIFAP/SAGARPA. México, pp 23-33.
- MORALES, G. J. 2013. Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annum* L.) cv "Cannon" obtenido mediante biofertilización. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

- NAKANO, A.; TAKHASHI, T; KIMURA M. (2001). "Effect of host shoot clipping on carbon and nitrogen sources for Arbuscular Mycorrhizal Fungi". *Mycorrhiza*. 10(3): 287-293
- NAMESNY, V. A. 2006. Pimientos compendios de horticultura. Ediciones de horticultura. P 166.
- NUEZ VIÑALS, F. R.; ORTEGA, G; COSTA GARCÍA, J. 1996. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi-Prensa, Madrid España, 607 p.
- NUEZ, F., GIL. R., COSTA, J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajies. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 607 p.
- PELLETIER, N.; AUDSLEY E.; BRODT S.; GARNETT, T.; HENRIKSSON P.; KENDALL A.; KRAMER K.J.; MURPHY D.; NEMECEK T.; TROELL M. 2011. Energy intensity of agriculture and food systems. *Annual Review Environment and Resources*. 36: 223-246.
- PÉREZ, I. J. 2012. Evaluación de la adición de vermicomposta y hongos micorrízicos en el crecimiento de plántulas de limón. Tesis de maestría. IPN. Pp. 64-75.
- PICARD, C.; DI CELLO F.; VENTURA M.; FANI R.; GUCKERT, A. 2000. Frequency and biodiversity of 2, 4-diacetylphloroglucinol-producing bacteria isolated from the maize rhizosphere at different stages of plant growth. *Applied Environmental Microbiology*. 66: 948-955.
- PIMENTEL, M.E. 2006. Inoculación micorrízica en el cultivo de jitomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero y fertirriego. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo México. 57 p.

- RAMÍREZ, H. R. 2013. Efecto de los fertilizantes y micorrizas en el vigor y producción del chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*), en el noreste de México. Seminarios de Posgrado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. 50 p.
- RAMOS-SOLANO, B.; BARRIUSO-MAICAS, J.; PEREYRA, M. T.; DOMENECH, J.; GUTIÉRREZ MAÑERO, F. J. 2008. Systemic disease protection elicited by plant growth promoting rhizobacteria strains: relationship between metabolic responses, systemic disease protection, and biotic elicitors. The American Phytopathological Society. 98: 451-457.
- RAO, R. T. V.; GOL, B. N.; SHAH, K.K. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae. 132: 18–26.
- READ, D. J. 1999. Mycorrhiza. The state of the art. In: Mycorrhiza 2nd. Varma, A. and B. Hock. (eds.). Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg. pp. 3-34.
- RESÉNDIZ-MELGAR, R. C. 2010. Evaluación agronómica de variedades de chile morrón manejadas con diferentes tipos de poda y densidades de población. Tesis doctoral. Instituto de horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. 87 p.
- RESH, M. H. 2006. Cursos práctico internacional de hidroponía. Lima, Perú. Disponible en http://www.Lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin46/PIMIENTO_HIDROPONICO_RESH.pdf . Consultado el 17 de Mayo de 2015.

- RUIZ-VACA, J. A. 2014. Evaluación de hongos micorrízicos y sustrato orgánico en el desarrollo y producción de pimiento morrón. Jiquilpan, Michoacán. México. 65 p.
- RUSSO, V. M. 2012. Botany, Production and uses. CABI Internacional. Disponible en línea en <http://www.cabi.org/cabebooks/ebook/20123048660>. Consultado el 18 de mayo de 2015.
- SAFIR, G. R. 1987. *Ecophysiology of V-A Mycorrhizal Plants*. CRC. Press Inc., Boca Raton, Florida, USA. 193 p.
- SALAZAR-GARCÍA, S. 2002. "Las micorrizas pueden mejorar la nutrición del árbol", en *Nutrición del aguacate principios y aplicaciones*. INIFAP-INPOFEOS. México. 165 p.
- SÁNCHEZ, G. D. 2014. Extracción nutrimental del chile pimiento (*Capsicum annuum* L. cv. Zidenka) en sistema hidropónico. Chapingo, México. 57 p.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. www.siap.sagarpa.gob.mx. (Consulta: mayo 01, 2015).
- SHAH, G. H. 2011. Hongos endomicorrizicos combinados con composta en calabacita hidropónica en invernadero. Tesis de maestría. Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 55.
- SHOWALTER, R. K. 1973. Factors affecting pepper firmness. Florida state horticultural society. Hnabling and processing section. 1: 309-382.
- SIEVERDING, E. 1991. *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agro Systems*. GTZ. Eschborn, Germany. 371 p.

- SMITH, R. S. 1992. Legume inoculant formulation and application. *Canadian Journal Microbiology*. 38: 485-492.
- SMITH, R. S. 1995. Inoculant formulations and applications to meet changing needs
Zn Nitrogen fixation: fundamentals and applications, I. A. Tiionovich, N.A.
- SNOWDON, A. L. 1990. A color atlas of post-harvest diseases and disorders fruits
and vegetables. Wolfe Scientific, London. 2: 54-91.
- STEINER, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. In: *Proceedings
6th International Congress on Soilles Culture*. Wageningen, The Netherlands.
- TANG, W. H.; YANG H. 1997. Research and application of biocontrol of plant
diseases and PGPR in China. In *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria-
present status and future prospects*, A. Ogoshi, K. Kobayashi, Y. Homma, F.
Kodama, N. Provorov, V.I. Romanov and W.E. Newton (eds), pp. 653-657,
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- TREVORS, J. T.; VAN, J. D.; LEE, H.; OVERBEEK, L S. 1992. Use of alginate and
other carriers for encpasulation of microbial cells for use in soil. *Microbial
Releases*. 1: 61-69.
- URRESTARAZU, M.; CASTILLO J. E.; SALAS M. C. 2002. "Técnicas culturales y
calidad del pimiento". Departamento de producción Vegetal-Universidad de
Almería. Horticultura, S.L. 9 p.
- VESSEY, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant
and Soil*. 255: 571–586.
- YONG, G. Z.; SMITH, A. F.; SMITH S. E. 2003. "Phosphorus efficiencies and
responses of barley (*Hordeum vulgare* L.) to Arbuscular Mycorrizal Fungi
Grown in Highly Calcareous Soil", *Mycorrhiza*. 13(2).