

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Impacto De *Glomus intraradices* Y *Azospirillum Sp.* En La Calidad De Frutos De Pimiento Morrón (*Capsicum annum L.*)

Por:

LUIS ANGEL CHÁVEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Impacto De *Glomus Intraradices* Y *Azospirillum Sp.* En La Calidad De Frutos De
Pimiento Amarillo (*Capsicum annuum L.*).

Por:

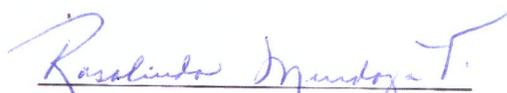
LUIS ANGEL CHÁVEZ SÁNCHEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



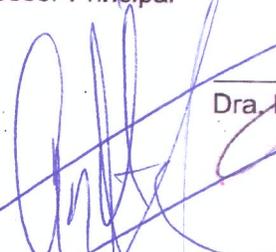
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor Principal



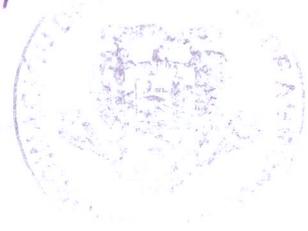
Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor



Dra. Eneida Adlene Pérez Velasco
Coasesor



Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Marzo 2022

Agradecimientos

Gracias DIOS, por permitirme dar un paso más en mi proceso de estudio y no dejarme solo en mi lucha para lograr mis anhelos, el sendero no fue fácil, pero contigo bastó con empeñarse a las tareas difíciles, porque la sabiduría y fuerza nunca me la negaste. Ahora te pido que me des buen pensamiento y me ayudes a enseñar lo mucho o poco que aprendí, a los que lo necesiten. Gracias por haberme dado una familia que me heredaron el tesoro más grande que es el estudio y que ahora podré compartir los mejores momentos que habrá de venir.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas para permitir mi formación profesional.

Al Departamento de Fitomejoramiento por brindarme todas las facilidades para la conclusión de la carrera de Ing. Agrónomo en Producción.

Al Departamento de Horticultura por brindarme las facilidades para la elaboración de este trabajo.

A mis profesores, gracias por sus enseñanzas, su dedicación y su tiempo; en especial a los profesores del Departamento de Fitomejoramiento.

Quienes además de enseñarme lo que sé de esta carrera hicieron que mi paso por esta Universidad fuera agradable.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal con gran admiración y respeto, por brindarme su confianza, su tiempo y paciencia para asesorar la realización del presente trabajo.

A la Dra. Eneida Adilene Pérez Velasco, por su valiosa asesoría durante la elaboración del presente trabajo.

Dedicatoria

Con amor y respeto a mi madre Margarita Sánchez Ahumada, quien con sus sabios consejos y enseñanzas me enseñó a ser una persona recta y honesta durante el proceso de mi formación, dándome su apoyo incondicional en el momento cuando más lo necesite.

A mi padre Alfredo Chávez Arciniega, por sus palabras, ánimos y apoyos durante mi formación. Estoy seguro que están orgullosos de todos sus hijos por todo y cada uno de sus logros. Con mucho amor les dedico este trabajo como muestra del fruto del esfuerzo de dos grandes padres y amigos.

Con mucho cariño para mi hermana: Ana Isabel Chávez Sánchez, quien estuvo presentes en todo momento, durante mi formación y que estará conmigo de aquí en adelante, gracias por brindarme todo el apoyo en los momentos cuando más los requería.

A mi novia Ana Violeta Méndez Negrete por su apoyo incondicional durante mi vida estudiantil, gracias por estar ahí.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	iii
Dedicatoria	iv
INDICE DE CUADROS	vii
Resumen.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.2. OBJETIVO GENERAL.....	3
I.3. HIPÓTESIS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
II.1. Origen del Pimiento	4
II.2. Botánica del pimiento morrón	4
II.2.1. Taxonomía y morfología	4
II.2.2. Planta	5
II.2.3. Sistema radicular.....	5
II.2.4. Tallo.....	5
II.2.5. Hoja	5
II.2.6. Flores.....	5
II.2.7. Fruto.....	6
II.2.8. Semilla	7
II.3 Calidad de fruto.....	7
II.4 Valor nutricional del pimiento morrón	8
II.5 Biofertilizantes	9
II.6 Los biofertilizantes en México	10
II.7. Microorganismos benéficos como biofertilizante	11
II.7.1. <i>Azospirillum sp</i>	11
II.7.1.1. Interacción planta-bacteria.....	12
II.7.2. Hongos micorrízicos.....	13
II.7.2.1 La simbiosis planta-hongo.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
III.1. Localización Geográfica.....	17
III.2. Descripción del área.....	17

III.3. Planta	18
III.4. Preparación de terreno	18
III.5. Trasplante	18
III.6. Tutorio.....	18
III.7. Sistema de riego.....	18
III.8. Variables evaluadas.....	19
III.8.1. Diámetro polar y ecuatorial de fruto	19
III.8.2. Rendimiento y peso de fruto	19
III.8.3. Color	19
III.8.4. Determinación de carotenos.....	20
III.8.5. Sólidos solubles totales	20
III.8.6. Acidez titulable.....	20
III.8.7. Determinación de vitamina C.....	20
III.8.8. pH del jugo de pimiento.....	20
III.9 Diseño experimental	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
IV.1. Diámetro polar y ecuatorial, peso, firmeza y rendimiento del fruto de pimiento morrón. .	22
IV.2. Carotenoides, Sólidos Solubles Totales, vitamina C e Índice de acidez en fruto de pimiento morrón.	23
IV.3. Color del fruto de pimiento morrón.	25
V. CONCLUSIÓN.....	26
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.) (asb-art.org, 2016).....	6
Figura 2. Estructura del fruto de pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.) (Tamaro, 1974).....	7
Figura 3. Esquema básico de los hongos micorrizicos.....	16
Figura 4. Espacio de color LAB (Hunter, 1948) modificado.....	26

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química y valor nutricional de los pimientos dulces por 100 g de producto comestible.....	8
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini.....	19
Cuadro 3. Efecto de los inoculantes microbianos en variables de diámetro polar y ecuatorial, peso, firmeza y rendimiento del fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.....	23
Cuadro 4. Efecto de los inoculantes microbianos en variables de carotenoides, Sólidos Solubles Totales, vitamina C e Índice de acidez en fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.....	24
Cuadro 5. Efecto de los inoculantes microbianos en variable de color en sus tres coordenadas L, A y B en fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.....	25

Resumen

El presente estudio se realizó con el objetivo de obtener la concentración de micorriza que incremente la calidad del fruto pimiento amarillo (*Capsicum annuum*) así como también obtener la interacción de Micorriza y *Azospirillum sp.* que mejore la calidad de fruto de pimiento amarillo. Para esto se llevó acabo la inoculación de diferentes concentraciones de Micorriza y *Azospirillum sp.* combinadas con una solución Steiner modificada (50%N-100%P, 100%N-50%P, 50%N-50%P) y una solución nutritiva completa para el testigo (100%N-100%P).

Se evaluaron nueve tratamientos 1. C, 2. AZ10⁴, 3. AZ10⁶, 4. G25, 5. G50,6. AZ10⁴ + G25, 7. AZ10⁴ + G50, 8. AZ10⁶ + G25, 9. AZ10⁶ + G50. Para los cuales se necesitaron macetas con capacidad de 10L en las que se colocó sustrato con las siguientes concentraciones: 60% lombricomposta, 20% perlita y 20% peat moss. Las inoculaciones aplicadas se realizaron cada 30 días, con un total de tres aplicaciones. Se evaluó diámetro ecuatorial y polar de fruto, peso de fruto, firmeza, contenido de carotenos, sólidos solubles totales, acidez titulable, contenido de vitamina C y color. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 9 tratamientos y 20 repeticiones.

El tratamiento AZ10⁶ + G50 fue el que arrojó mejores resultados para diámetro polar, firmeza, solidos solubles, índice de acides y vitamina C, en cuanto a carotenos el tratamiento AZ10⁴ mostró el mejor resultado.

La aplicación de Micorrizas y *Azospirillum sp.* produjo un efecto positivo en la mayoría de las variables de calidad evaluadas en especial con la combinación AZ10⁶ + G50 con Steiner 50% N 50% P.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, Micorriza, *Azospirillum sp.*, calidad.

I. INTRODUCCIÓN

El pimiento es una planta del género *Capsicum* que incluye aproximadamente 25 especies, tiene su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. En el año 2011 se produjeron 29.9 millones de toneladas en 1.9 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2013). El pimiento posee un elevado valor nutrimental, principalmente por la presencia de vitaminas A, C, E, minerales, fibra y antioxidantes, siendo una de las hortalizas con mayor contenido de vitamina C (Kothari *et al.*, 2010). El pimiento morrón es de gran importancia mundial, ya que se encuentra extendido de manera general en las regiones templadas y cálidas, además ocupa el 5° lugar en la producción y superficie cultivada de las principales hortalizas (Guzmán y Limón, 2000).

En el país la mayor parte de la producción de este cultivo se destina a la exportación, tanto la que se genera a campo abierto como en invernadero, se siembran aproximadamente 5,800 ha, con rendimientos en campo hasta de 50 ton/ha/año, la exportación se lleva acabo principalmente en los Estados Unidos y Canadá (Castellanos y Borbón, 2009). El cultivo de pimiento pertenece la familia de las solanáceas, la cual incluye otras hortalizas de importancia como el tomate, papa, jitomate, tabaco. En los últimos años se ha incrementado la utilización de fertilizantes basados en microorganismos promotores del crecimiento que se denominan rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, bioestimulantes, biofertilizantes o inoculantes. Aunque son muchos los microorganismos identificados que se utilizan en este tipo de fertilizantes, los más comunes pertenecen a los géneros *Rhizobium*, *Azospirillum* y *Glomus* (Alarcón *et al.*, 2000).

Emplear microorganismos para mejorar la productividad de los cultivos no es nuevo, desde hace mucho tiempo, los agricultores determinaron de manera empírica que al mezclar suelo utilizado para cultivar leguminosas favorecían el desarrollo de otros cultivos y mejoraba 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. Los microorganismos se aplican al suelo para desempeñar funciones específicas que benefician a la productividad de las plantas como: fijación de nitrógeno, solubilización de minerales, producción de estimuladores del crecimiento vegetal y biocontrol de patógenos (Gosling *et al.*, 2006; Franken *et al.*, 2007; Siddiqui & Akhtar, 2008; Kapoor *et al.*, 2008).

Los biofertilizantes no tienen un efecto contaminante sobre el suelo ya que los microorganismos contenidos en estos se utilizan para aumentar la disponibilidad de algunos nutrientes como el P que es de baja disponibilidad, fijar nitrógeno y aumentar la disponibilidad de nitrógeno en hortalizas, como tomate y cebolla además de ofrecer a la raíz protección contra patógenos (Santillana *et al.*, 2005; Balemi *et al.*, 2007; Morales-Ibarra, 2009).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal (RPCV) del género *Azospirillum*, son de los microorganismos benéficos más estudiados estos mediante la actividad simbiótica inducen a mejorar la nutrición de las plantas, coadyuvan a tolerar condiciones adversas de producción y consecuentemente promueven el crecimiento y la producción de los cultivos; por lo que han sido considerados como agentes de fertilización biológica o biofertilizantes (Loredo *et al.*, 2004).

I.2. OBJETIVO GENERAL

Analizar el comportamiento del cultivo de pimiento morrón en respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de *Glomus intraradices* y *Azospirillum sp* así como obtener la concentración sola o combinada de *Glomus intraradices* y *Azospirillum sp* que mejore e incremente la calidad de fruto de pimiento morrón amarillo.

I.3. HIPÓTESIS

La calidad de los frutos de pimiento mejorará con la inoculación de Micorrizas y *Azospirillum* en relación a la fertilización química.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

II.1. Origen del Pimiento

El pimiento es una planta del género *Capsicum* que incluye aproximadamente 25 especies, tiene su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. En el año 2011 se produjeron 29.9 millones de toneladas en 1.9 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2013).

El pimiento dulce (*Capsicum annuum*) es originario de América del Sur particularmente de Perú, Bolivia, Argentina, y Brasil, sin embargo algunos autores mencionan que se ha encontrado en las regiones del sur de Asia (Calaneo, 2012).

México es considerado centro de domesticación del cultivo del chile, con gran variabilidad genética no explorada. Se ha registrado su domesticación en los estados de Tamaulipas, Puebla y Oaxaca por lo que el género *Capsicum* ha sido domesticado por lo menos en dos zona diferentes: el tipo *Capsicum annuum* en México y *Capsicum chinense* en la Amazonia (Pickersgill, 1989).

II.2. Botánica del pimiento morrón

II.2.1. Taxonomía y morfología

Los pimientos pertenecen a la familia de solanáceas la cuales engloba una serie de especies con características similares en sus flores y riqueza de alcaloides, características que tienen mucho interés agrícola y farmacéutico; así mismo están dentro del género *Capsicum* el cual engloba desde los pimientos dulces hasta los más picosos como le habanero (Serrano, 2009).

II.2.2. Planta

Herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero) esto si se realiza un buen manejo del cultivo (Serrano, 2009).

II.2.3. Sistema radicular

Presenta un sistema radicular pivotante y profundo dependiendo de la profundidad y textura del suelo, tiene numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud que oscila entre 50cm y 1m (Mundarain et al., 2005).

II.2.4. Tallo

Presenta un tallo de crecimiento limitado y erecto, emite 2 o 3 ramificaciones dependiendo de la variedad y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (InfoAgro, 2010).

II.2.5. Hoja

Es entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo las nervaduras secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja (Serrano, 2009).

II.2.6. Flores

Son hermafroditas y alógamas, aparecen solitarias en cada uno de los nudos de los tallos, son pequeñas y están formadas por una corola blanca, su polinización

es autógama, aun que pueden presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10 %; para que se produzca la floración es necesario que la planta alcance su madurez fisiológica, la cual se consigue cuando la planta tiene aproximadamente 10 hojas (Serrano, 2009; Serrano, 2011).

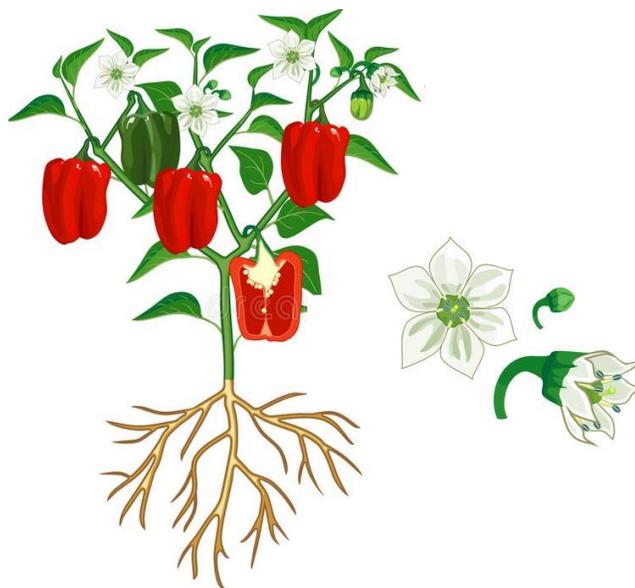


Figura 1. Morfología de la planta de pimiento (*Capsicum annuum* L.) (asb-art.org, 2016).

II.2.7. Fruto

Los frutos, son definidos botánicamente como bayas, presenta coloraciones que van desde el verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco los cuales están constituidos por pericarpio grueso y jugoso, un tejido placentario al que se unen las semillas, dando lugar a una estructura de superficie tersa, hueca, voluminosa, llena de aire la cual forma una cápsula (Serrano, 2009).

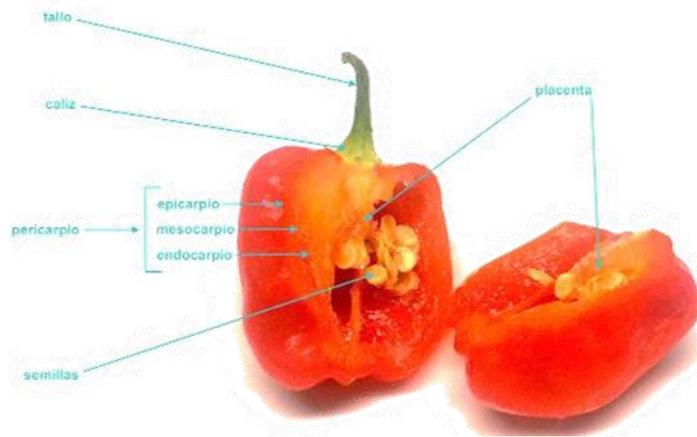


Figura 2. Estructura del fruto de pimiento (*Capsicum annuum* L.) (Tamaro, 1974).

II.2.8. Semilla

Las semillas del pimiento son redondas y ligeramente reniformes, tienen una longitud de aproximadamente 3 a 5 mm y presentan una coloración amarilla pálida y una vida útil aproximadamente de 3 a 4 años (Serrano, 2009).

II.3 Calidad de fruto

El pimiento posee un elevado valor nutricional, principalmente por la presencia de vitaminas A, C, E, minerales, fibra y antioxidantes, siendo una de las hortalizas con mayor contenido de vitamina C (Kothari *et al.*, 2010).

Con respecto a la vitamina C, Morales (2013) encontró que con el uso de inoculantes microbianos se incrementa el contenido de vitamina C (175 mg/100g) en el fruto de pimiento a comparación de un tratamiento sin inocular (80 mg/100g). También Deepa *et al.* (2007) concluyen que la concentración de esta vitamina depende de factores como el cultivar, condiciones climáticas, así como condiciones de pre y postcosecha que pueden afectar la composición química de los alimentos vegetales. Estudios realizados confieren a los carotenos propiedades benéficas para la salud, como la capacidad antioxidante, antitumoral y provitamina A (Botella *et al.*, 2006).

II.4 Valor nutricional del pimiento morrón

Cuadro 1. Composición química y valor nutricional de los pimientos dulces por 100 g de producto comestible.

Compuesto	Pimiento Dulce
Agua	92.02 g
Proteínas	1 g
Lípidos	0.21 g
Hidratos De Carbono	6.32 g
Fibra	0.9 g
Calcio	11mg
Hierro	0.46 mg
Magnesio	12 mg
Fósforo	24 mg
Potasio	212 mg
Sodio	2 mg
Zinc	0.17mg
Cobre	0.107 mg
Manganeso	0.117 mg
Vitamina C	153.5 mg
Carotenos	120 ug

(USDA, 2013).

Investigaciones realizadas en cultivo de pimiento, reportan que el contenido de carotenos en pimiento amarillo 87.8-101.3 mg/100g (Burns *et al.*, 2003).

La firmeza es un indicador de calidad que está relacionado con el tiempo de conservación de alimentos como lo son las frutas y hortalizas. Es por eso, que 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).

Castro *et al.*, (2011) muestran datos de firmeza en pimientos medidos sobre el epicarpio con valores de 0.86 y 0.339 Kg·F

Una característica importante en la calidad del pimiento es el sabor, determinados por los sólidos solubles totales (SST), Urrestarazu *et al.*, 2002. Sin embargo, no hay información sobre el efecto de la aplicación de HMA así como de bacterias benéficas sobre los SST y otros parámetros de calidad nutracéutica en el cultivo de pimiento.

Sólidos solubles totales (SST) son una característica importante que refleja la calidad del pimiento ya que varía en función de cultivar, nutrición de la planta, conductividad eléctrica de la solución nutritiva, estrés hídrico, entre 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 con los carbohidratos contenidos en el jugo del fruto, así como de minerales disueltos.

En el cultivo de chile morrón el ácido presente es el ácido cítrico, él cual juega un papel importante en el cultivo influyendo en el sabor, el color, la estabilidad microbiana y muy importante en la calidad de conservación (Domene y Segura, 2014). El índice de acidez de ácido cítrico en el chile morrón amarillo oscila entre 0.25% a 0.41% (Zoilo, 2011).

El color está relacionado con la percepción del consumidor, mientras que la concentración del pigmento se atribuye a la madurez y la concentración de algunos otros componentes que se relaciona con el sabor (Universidad San Francisco de Quito, 2011).

II.5 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son compuestos de microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización química así como disminuir la contaminación generada por los agroquímicos (Armenta *et al.*, 2010). Entre los microorganismos más importantes que proporcionan fósforo a las

plantas, esta los hongos micorrízicos que presentan asociación simbiótica con las plantas, las cuales suministran además de un nicho ecológico, a su vez la planta se beneficia incrementando la captación de nutrimentos minerales del suelo principalmente fósforo (Alloush *et al.*, 2000).

La tecnología de inocular plantas se produjo a finales de 1970 donde 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, 2004). Los efectos adversos causados al medio ambiente han orientado a buscar nuevas estrategias como los biofertilizantes, anteriormente los problemas de fertilidad solo eran resueltos principalmente con fertilizantes sintéticos (Rabie y Humiany, 2004). Son una alternativa emergente a los fertilizantes químicos inorgánicos para incrementar la fertilidad y producción de cultivos en agro ecosistemas sustentables.

En el cultivo de tomate, la inoculación de HMA mostró buenos resultados aumentando el tamaño del fruto y rendimiento del cultivo (Desgan *et al.*, 2008; Oseni *et al.*, 2010). Empleando endomicorrizas en el cultivo de chile provoca plantas de mayor altura y área foliar así como precocidad en la cosecha y aumentando el peso fresco 177% en relación al control (Castillo *et al.*, 2009). Sucedió lo mismo con el cultivo de chile banano cuando se inocularon con HMA en Colombia (Usuaga *et al.*, 2008).

II.6 Los biofertilizantes en México

En México, el registro de biofertilizantes es actualmente controlado por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), la cual define un inoculante como un producto elaborado a base de microorganismos que se aplican al suelo o a la semilla con el fin de aprovechar los nutrimentos contenidos en asociación con el vegetal o su rizósfera (Norma Oficial Mexicana NOM-182-SSA1-1998, Etiquetado de Nutrientes Vegetales; Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, 2000). El registro de inoculantes ante COFEPRIS precisa, entre otros requisitos, de la realización de

pruebas de efectividad biológica, el análisis de laboratorio del producto a comercializar y la presentación de una licencia sanitaria por el laboratorio que formulará el biofertilizante.

En los años 2014-2015 se dejaron de emitir 22, 762 toneladas de CO₂ gracias a que los productores han pasado de fertilizantes químicos a biofertilizantes, SAGARPA indicó que se redujo la importación de fertilizantes químicos (69,589 ton), además se incrementó la producción en un 15% (SAGARPA, 2016).

Ante el resurgimiento de los biofertilizantes como una alternativa viable para incrementar la productividad agrícola y la consecuente aparición en México de un gran número de productos que no reúnen los requisitos mínimos de calidad, el Gobierno Federal de México, a través de SAGARPA e INIFAP, ha emprendido una iniciativa formal para reglamentar y fiscalizar la fabricación de biofertilizantes en México (SAGARPA, 2016).

II.7. Microorganismos benéficos como biofertilizante

II.7.1. *Azospirillum sp*

Azospirillum es una bacteria fijadora de nitrógeno con vida libre, Katzy (2001), menciona que esta bacteria puede ser de vida libre o asociarse con las raíces de los cereales, pastos y plantas tuberosas. Esta bacteria tiene la capacidad de fijar nitrógeno gaseoso a las raíces, que conlleva a mayor superficie de absorción de nutrientes y por consecuencia mejora el crecimiento de las plantas, realizando evaluaciones en diferentes cultivos, suelos y condiciones climáticas los resultados son exitosos el 70 por ciento de los casos con rendimientos en los cultivos de cinco a 30 puntos porcentuales mayores (Pereyra *et al.*, 2010).

Se ha comprobado que usar bacterias en combinación con algún fertilizante mineral nitrogenado en un porcentaje 20 al 50% se consigue un aumento de producción a cosecha a las obtenidas utilizando únicamente fertilización química 100% (Russo *et al.*, 2009; Cassán *et al.*, 2009).

La bacteria *Azospirillum* produce reguladores de crecimiento como auxinas, ácido indolacético (AIA), citosinas, y proteínas como poliamina, ayudan a fijar nitrógeno, aumentan el crecimiento radicular, además aceleran el crecimiento de las plantas notablemente (Villegas *et al.*, 2010). Las bacterias del género *Azospirillum* constituyen los inoculantes más comúnmente utilizados en trigo. *Azospirillum* estimula en el crecimiento de raíces, que aumentarían su longitud, densidad y velocidad de crecimiento. También promueve la producción de auxinas, lo cual incrementa la tasa de crecimiento aéreo y radicular. Esto se ve frecuentemente reflejado en una mayor absorción de agua y nutrientes. (Bottini *et al.*, 2004; Rivas y Plasencia, 2011).

En plantas inoculadas con *Azospirillum* se ven favorecidas con la capacidad de realizar una mayor exploración del suelo y así incrementar la captación de agua y nutrimentos (Babalola, 2010; Adesemoye *et al.*, 2009). *Azospirillum brasilense* es una rizobacteria fijadora del nitrógeno del aire que promueve el crecimiento cuando es inoculada especialmente en gramíneas (Bellone y Carrizo, 2001).

II.7.1.1. Interacción planta-bacteria

La colonización eficiente de la raíz constituye el factor más importante, cuando nos referimos al efecto beneficioso de la asociación planta-bacteria (Woodar y Bly, 2000). Los análisis microscópicos de la interacción planta-*Azospirillum* revelan dos tipos de colonización: una población bacteriana externa localizada en la capa de mucílago de la superficie de la raíz y una población interna localizada en los espacios intercelulares de la corteza radical. Aunque las células bacterianas pueden localizarse en cualquier parte del sistema radical, ellas tienen preferencia por el extremo radical, la zona de elongación y la zona de los pelos radicales. El movimiento de *Azospirillum* hacia la planta hospedera es un proceso activo no específico determinado por la motilidad bacteriana, que no depende directamente de la deficiencia de nutrientes, pero que es una consecuencia de la quimiotaxis bacteriana no específica, influenciada por el balance entre atrayentes y posibles repelentes liberados por la raíz y los niveles subatmosféricos de PO₂ que existen

en la superficie radical, debido a la intensa actividad microbiana y que pueden guiar a la bacteria hacia un nicho óptimo para la fijación de nitrógeno en la rizosfera (Marshall y Vanderleyden, 2000). Posterior a esta migración ocurre el proceso de absorción que consta de dos fases. La primera es una adhesión rápida, reversible, gobernada por compuestos proteicos y basada principalmente en uniones fisicoquímicas (iónicas hidrofóbicas), las cuales son usualmente poco fuertes, no específicas y permiten que las células sean fácilmente separadas de la raíz; a segunda fase es una adhesión irreversible, en la cual la interacción bacteria-superficie forma una malla o retículo de sustancias, que unen permanentemente la bacteria a la superficie radical. Esta segunda etapa es más fuerte y probablemente basada en polisacáridos de superficie, y puede ser el factor principal en la colonización efectiva de la raíz, lo cual contribuye finalmente al crecimiento de la planta (Burdman *et al.*, 2000).

II.7.2. Hongos micorrízicos

Las micorrizas (del griego *myces*, hongo y *rhiza*, raíz) representan la asociación entre algunos hongos (micobiontes) y las raíces de las plantas (fitobiontes). El término “micorriza” fue acuñado por Frank (1961) patólogo forestal alemán, al estudiar las raíces de algunos árboles forestales. Evidencias fósiles y estudios moleculares sugieren que la asociación micorrízica se originó hace casi 462 millones de años y, desde entonces, su formación es indispensable para el éxito ecológico de la mayoría de las plantas sobre la Tierra (Camargo *et al.*, 2012).

Las principales investigaciones sobre micorrizas que se desarrollan en nuestro país con enfoques agronómicos se centran en el efecto de la micorrización en plantas de importancia económica, alimentaria y cultural (Camargo *et al.*, 2012). Son órganos de absorción dobles que se forman cuando los hongos simbiotes (simbiosis) viven dentro de los órganos de absorción sanos (raíces, rizomas o tallos) de las plantas terrestres, acuáticas o epífitas (planta que crece sobre otro vegetal).

La planta le proporciona al hongo carbohidratos (azúcares, producto de su fotosíntesis) y un micro-hábitat para completar su ciclo de vida; mientras que el hongo, a su vez, le permite a la planta una mejor captación de agua y nutrientes minerales con baja disponibilidad en el suelo (principalmente fósforo), así como defensas contra patógenos (Camargo *et al.*, 2012).

Los HMA incrementan la eficiencia de la toma de P inorgánico del suelo por las plantas, lo cual se encuentra estrechamente relacionado con el aumento de la actividad enzimática radical de los sistemas involucrados directamente con el metabolismo de este elemento. Se ha detectado actividad polifosfato kinasa y polifosfato glucokinasa en raíces micorrizadas así como fosfatasa ácida en raíces colonizadas en comparación con las controles (Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

La función principal de la micorriza es facilitarle a la planta la adquisición y absorción de agua, fósforo y nitrógeno, principalmente; sin embargo, esta asociación proporciona otros beneficios a las plantas, entre los que destacan: la protección ante el ataque de parásitos, hongos patógenos y nemátodos, el aumento de su resistencia a la herbívora, influyendo en la producción de sustancias defensivas por parte de la misma planta, la limitación de la absorción de metales pesados tóxicos como el zinc y el cadmio que son alojados en sus hifas, aumento del área de exploración de la raíz, lo que incrementa el flujo de agua del suelo a la planta (Camargo-Ricalde, 2009).

Existen estudios que reportan que la micorriza genera una extensa red de micelio externo que explora el suelo en la búsqueda de recursos (por ejemplo nutrientes y agua) e interconecta a las raíces de plantas de la misma especie e, incluso, de especies diferentes (Simard y Durall, 2004). La asociación micorrízica ofrece múltiples beneficios, debido a que las plantas micorrizadas, ya sean de interés agrícola o forestal, son más resistentes a condiciones ambientales adversas, como: la falta de agua y de nutrientes esenciales, y el ataque de microorganismos fitopatógenos o plagas, además de estimular un mayor crecimiento (biomasa) y una mejor adecuación. (Camargo-Ricalde *et al.*, 2012).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) del género *Azospirillum*, son de los microorganismos benéficos más estudiados estos mediante la actividad simbiótica inducen a mejorar la nutrición de las plantas, coadyuvan a tolerar condiciones adversas de producción y consecuentemente promueven el crecimiento y la producción de los cultivos; por lo que han sido considerados como agentes de fertilización biológica o biofertilizantes (Loredo *et al.*, 2004).

Los hongos micorrízicos son organismos que necesitan colonizar una planta para completar su ciclo de vida. Esta asociación entre hongos micorrízicos y planta tiene una antigüedad de 460 millones de años, éstas penetran y colonizan las células radicales del hospedante, forman un sistema de transferencia bidireccional, llevan nutrimentos minerales del suelo a la planta y compuestos orgánicos de la planta al suelo. Es decir, la asociación posibilita, mediante mecanismos bioquímicos, mayor absorción de nutrientes, principalmente fósforo (Zepeda *et al.*, 2010).

II.7.2.1 La simbiosis planta-hongo

La función principal de la micorriza es facilitarle a la planta la adquisición y absorción de agua, fósforo y nitrógeno, principalmente; sin embargo, esta asociación proporciona otros beneficios a las plantas, entre los que destacan: la protección ante el ataque de parásitos, hongos patógenos y nemátodos, el aumento de su resistencia a la herbívora, influyendo en la producción de sustancias defensivas por parte de la misma planta, la limitación de la absorción de metales pesados tóxicos como el zinc y el cadmio que son alojados en sus hifas, aumento del área de exploración de la raíz, lo que incrementa el flujo de agua del suelo a la planta (ver revisiones hechas por Camargo-Ricalde, 2009); además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el enriquecimiento de materia orgánica y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio, la glomalina, contribuyendo a darle estructura y estabilidad al suelo, lo que reduce su erosión y

mejora su capacidad de retención de agua (Guadarrama *et al.*, 2004; Finlay, 2008). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se caracterizan por presentar un crecimiento intra e intercelular en la corteza de la raíz y por formar dos tipos de estructuras, arbusculos y vesículas (Figura.3).

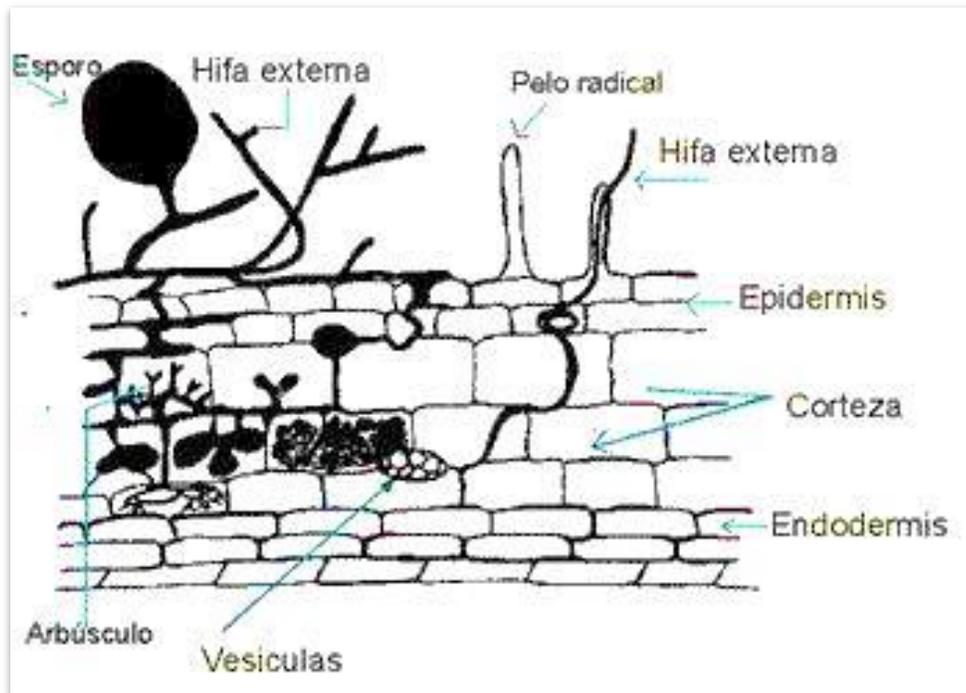


Figura 3. Esquema básico de los hongos micorrízicos.

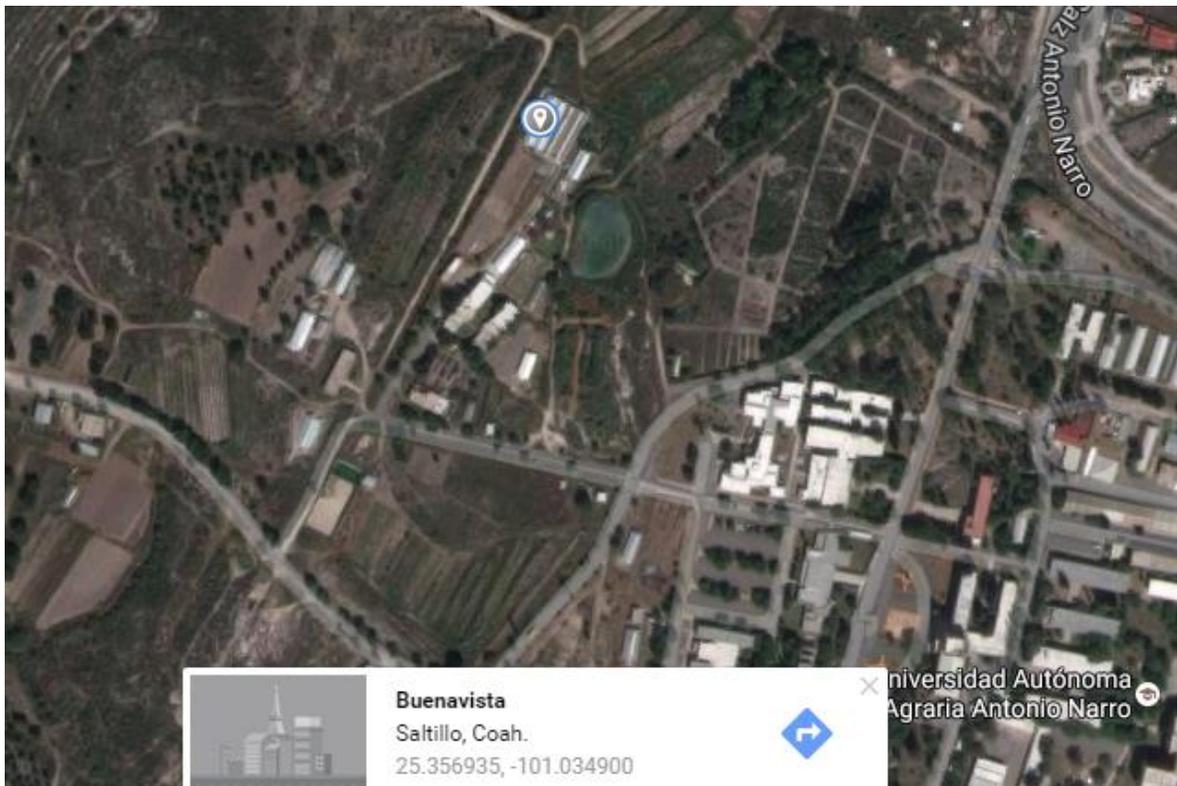
III. MATERIALES Y MÉTODOS

III.1. Localización Geográfica

El presente trabajo de tesis se realizó en los invernaderos ubicados en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio NARRO, el cual está ubicado a 25° 22' Latitud Norte, y 101° 00' Latitud Oeste, y a una altura de 1742 msnm.

III.2. Descripción del área

El clima de Saltillo es templado, semiseco con pocas lluvias en verano e invierno, con una temperatura promedio de 17 °C. Los inviernos son crudos debido a los frentes fríos que llegan a la ciudad, siendo comunes las temperaturas inferiores a los 0 °C y con probabilidad de nieve.



III.3. Planta

La planta que se utilizó para llevar a cabo esta investigación fue Pimiento morrón híbrido Lamborghini la cual fue traída de los invernaderos Valle Alto.

III.4. Preparación de terreno

Para la preparación del terreno se llevó a cabo una nivelación y deshierbe para proceder a la instalación de Ground Cover color negro, sobre el cual se acondicionaron las macetas para cada una de las repeticiones de los tratamientos.

III.5. Trasplante

El trasplante se realizó en macetas de 10 litros de sustrato, 60% lombricomposta, 20% perlita y 20% peat moss. Se llevó a cabo el día 10 de junio de 2015 en uno de los invernaderos ubicados en el departamento de Horticultura.

III.6. Tutorio

Para tutorar cada una de las plantas se tuvieron que llevar a cabo las podas pertinentes hasta llegar a la formación de dos tallos, para posteriormente colocar los anillos con las rafias.

III.7. Sistema de riego

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 del estado fenológico de la planta así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego, etc.).

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini.

Tratamiento	Concentración del inóculo	SN Steiner (N - P)
1. Control (C)	Sin inocular	Completa
2. <i>Azospirillum</i> sp (AZ10 ⁴)	10 ⁴ UFC ml ⁻¹	50%–100%
3. <i>Azospirillum</i> sp (AZ10 ⁶)	10 ⁶ UFC ml ⁻¹	50%–100%
4. <i>G. intraradices</i> (G25)	25 esporas	100%–50%
5. <i>G. intraradices</i> (G50)	50 esporas	100%–50%
6. <i>Azospirillum</i> + <i>G. intraradices</i> (AZ10 ⁴ + G25)	10 ⁴ + 25 esporas	50%–50%
7. <i>Azospirillum</i> + <i>G. intraradices</i> (AZ10 ⁴ + G50)	10 ⁴ + 50 esporas	50%–50%
8. <i>Azospirillum</i> + <i>G. intraradices</i> (AZ10 ⁶ + G25)	10 ⁶ + 25 esporas	50%–50%
9. <i>Azospirillum</i> + <i>G. intraradices</i> (AZ10 ⁶ + G50)	10 ⁶ + 50 esporas	50%–50%

UFC ml⁻¹=unidades formadoras de colonias, SN = solución nutritiva.

Cada repetición consta de una maceta de 10 litros de sustrato, 60% lombricomposta, 20% perlita y 20% peat moss, la primera inoculación se realizó al siguiente día del trasplante, y después dos inoculaciones cada 30 días.

III.8. Variables evaluadas

III.8.1. Diámetro polar y ecuatorial de fruto

Para la medición de los diámetros se tomaron frutos al azar por tratamiento y se midieron utilizando un vernier (Digital Caliper).

III.8.2. Rendimiento y peso de fruto

Se determinó la producción mediante el rendimiento registrando el número de frutos/planta y peso de fruto (g) usando una balanza digital (OHAUS modelo OHA PIONEER PB1).

III.8.3. Color

Se determinaron las coordenadas de color “L”, “a” y “b” con ayuda de un colorímetro HunterLab con iluminante A, en 3 puntos equidistantes del fruto entre

el cáliz y el pedúnculo (zona ecuatorial). Se utilizaron cinco frutos por cada tratamiento y se reportaron el promedio de las lecturas (Hernández-Fuentes *et al.*, 2015).

III.8.4. Determinación de carotenos

Para la determinación de esta variable se empleó la técnica propuesta por Almela *et al.* (1991), para lo cual la muestra fue tomada y analizada el mismo día del corte cuidando que dicha muestra estuviera libre de cualquier daño, se empleó un espectrofotómetro marca BIOMATE 5-9423 y la medición se realizó a una longitud de onda de 454 nm.

III.8.5. Sólidos solubles totales

Se determinó sólidos solubles totales (SST) como porcentaje de °Brix mediante el método 932.12 (A.O.A.C, 1990), para lo cual se empleó un refractómetro digital MI96801 marca HANNA con capacidad de 0%-85% expresando los resultados en °Brix. Se cortó un segmento de la parte media del fruto y se exprimió hasta tener una gota de jugo que se colocó en el sensor.

III.8.6. Acidez titulable

La acidez titulable o índice de acidez se determinó de acuerdo a la metodología 942.15 (A.O.A.C, 2005) expresando los datos como porcentaje de ácido cítrico.

III.8.7. Determinación de vitamina C

El ácido ascórbico (vitamina C) se determinó por el método visual 2-6 diclofenol indofenol (A.O.A.C, 1990).

III.8.8. pH del jugo de pimiento

El pH se determinó colocando una gota del jugo del fruto en el lector del potenciómetro Horiba (LAQUAtwin B-712).

III.9 Diseño experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques completamente al azar y los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1. Diámetro polar y ecuatorial, peso, firmeza y rendimiento del fruto de pimiento morrón.

En el cuadro 3 se observa que el diámetro ecuatorial del fruto con combinación de bacterias y hongos afectó de manera positiva el incremento de esta variable, pero el diámetro polar no mostró ninguna diferencia entre todos los tratamientos. El tratamiento AZ10⁶ + G50 logró incrementar satisfactoriamente el peso de fruto con 275 g logrando resultados similares a los obtenidos por Castillo et al. (2009), no obstante los tratamientos inoculados con estos microorganismos estuvieron dentro del mismo grupo estadístico muy por encima de C, resultados similares han sido reportados por Fawzy et al. (2012) en dos años consecutivos, donde registraron un aumento en la calidad física del fruto de pimiento morrón, los beneficios de los hongos y bacterias es notoria dado que tienen un efecto sinérgico en la mejora del rendimiento y la calidad del fruto de pimiento morrón (Zayed *et al.*, 2013).

Con respecto a la firmeza se logró el mejor resultado en el tratamiento AZ10⁶ + G25 con 3.28 Kg.F, nuestro resultado superó el obtenido por Castro et al. (2011) con valores de 1.40 y 2.74 Kg m². La firmeza es un parámetro que depende especialmente del estado de madurez en que se cosecha el pimiento, cuando el fruto de pimiento alcanza su madurez máxima la consistencia del fruto disminuye viéndose afectado el manejo y la vida de anaquel, de aquí la importancia de la firmeza del fruto de pimiento (Báez-Sañudo *et al.*, 2005).

En el cultivo de pimiento, la inoculación de HMA y *Azospirillum*, sea en aplicación individual o combinada, muestran resultados muy favorecedores, superando notablemente al testigo (C), en el tratamiento AZ10⁶ + G50 el tamaño de fruto fue mayor con 8.1 y 9.2 cm en las variables de diámetro polar y ecuatorial, respectivamente.

Podemos observar que los diferentes tratamientos influyeron significativamente en el rendimiento del pimiento superando notablemente al C, por ejemplo, los tratamientos 7 y 9 tuvieron una mayor producción y son estadísticamente iguales,

sin embargo el tratamiento AZ106 + G50 fue el que mayor rendimiento presentó con un total de 175 ton/ha de pimiento, superando los resultados obtenidos y reportados por Fortis-Hernández (2012). Este comportamiento también contrasta con los resultados reportados por Lira-Saldívar et al. (2014) en el cultivo de tomate Cherry, el cual aumentó 16% el rendimiento del cultivo comparado con fertilización convencional.

Cuadro 3. Efecto de los inoculantes microbianos en variables de diámetro polar y ecuatorial, peso, firmeza y rendimiento del fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.

Tratamiento	DP (cm)	DE (cm)	PFr (g)	Fir (Kg m ²)	Rto (ton/ha)
C	6.0 b	5.7 c	118.3 c	2.48 b	105 c
AZ10 ⁴	7.3 a	8.5 b	191.3 b	2.78 ab	112 bc
AZ10 ⁶	7.7 a	8.9 b	233.8 ab	2.25 b	113 bc
G25	7.3 a	8.8 b	217.5 ab	2.78 ab	118 bc
G50	7.1 a	9.1 b	212.5 ab	2.58 ab	120 bc
AZ10 ⁴ + G25	7.2 a	9.3 ab	225.0 ab	2.28 b	128 b
AZ10 ⁴ + G50	7.5 a	9.5 a	234.5 ab	2.43 b	136 ab
AZ10 ⁶ + G25	7.3 a	9.3 ab	211.3 ab	3.28 a	130 b
AZ10 ⁶ + G50	8.1 a	9.2 ab	275.0 a	3.23 a	175 a

DP: Diámetro Polar; DE: Diámetro Ecuatorial; PFr: Peso de Fruto; FIR: Firmeza; Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticas según Tukey (p<0.05) como resultado de las inoculaciones de *Azospirillum* y Micorrizas en diferentes concentraciones y un testigo (C).

IV.2. Carotenoides, Sólidos Solubles Totales, vitamina C e Índice de acidez en fruto de pimiento morrón.

En el cuadro 4 podemos ver que los carotenos cuantificados en esta investigación superan los resultados de las investigaciones realizadas en cultivo de pimiento ya que se reporta que el contenido de carotenos en pimiento amarillo oscila entre 87.8-101.3 mg/100g (Burns *et al.*, 2003), es decir, el tratamiento con la bacteria *Azospirillum* en una concentración de AZ10⁴UFC logró aumentar tres veces más el contenido de carotenoides con una concentración de 318 µg /100g de carotenoides. Selvakumar et al. (2012) reportan aumento significativo de carotenos en el cultivo de *Vigna mungo* con la aplicación de hongos micorrízicos y bacterias (biofertilizantes) en todas las concentraciones que establecieron

comparado con su testigo; estos resultados pueden atribuirse a la solubilización de fosfato por los microorganismos del suelo que no solo incrementan el crecimiento sino también la resistencia de las plantas en condiciones de déficit hídrico (Ehteshamiet *al.*, 2007).

Cuadro 4. Efecto de los inoculantes microbianos en variables de carotenoides, Sólidos Solubles Totales, vitamina C e Índice de acidez en fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.

Tratamiento	CAR (µg /100g)	SST (°Brix)	VIT C (mg/100g)	IA (%/100g)
C	131 b	5.1 e	95.17 g	0.18 e
AZ10 ⁴	318 a	5.6 de	128.67 de	0.24 de
AZ10 ⁶	205 ab	5.5 de	118.27 f	0.28 cde
G25	187 ab	6.5 bc	139.55 c	0.45 bcd
G50	173 b	6.1 cd	158.50 b	0.49 bc
AZ10 ⁴ + G25	164 b	6.4 bcd	118.80 f	0.40 cde
AZ10 ⁴ + G50	263 ab	6.5 bc	135.50 cd	0.33 cde
AZ10 ⁶ + G25	205 b	7.1 ab	125.07 ef	0.65 ab
AZ10 ⁶ + G50	240 ab	7.6 a	210.00 a	0.77 a

CAR: Carotenoides; SST: Sólidos Solubles Totales; VIT C: Vitamina C; IA: Índice de Acidez. Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticas según Tukey ($p < 0.05$) como resultado de las inoculaciones de *Azospirillum* y Micorrizas en diferentes concentraciones y un testigo: C.

La comparación de medias para Sólidos Solubles Totales (°Brix) demostró que el tratamiento AZ10⁶ + G50 es el mejor resultado comparado con todos los otros tratamientos analizados y muy por encima de los resultados obtenidos por Castro et al. (2011) quienes obtuvieron valores de 4.8° Brix y Rao et al. (2011) quienes reportaron valores de 2.9 a 5.8 °Brix.

En cuanto al contenido de vitamina C se logró alcanzar resultados de 20% más en el tratamiento AZ10⁶ + G50 (210.00 mg/100g) que los obtenidos por Morales (2013) quien reportó que con el uso de inoculantes microbianos se logra incrementar el contenido de vitamina C (175 mg/100g) en el fruto de pimiento a comparación de un tratamiento sin inocular (80 mg/100g). Este mismo tratamiento (AZ10⁶ + G50) logró rebasar los estándares de acidez en el chile morrón amarillo

que según Serrano *et al.*, (2010) oscila entre 0.25% a 0.41%, mostrando un resultado de 0.77% de ácido cítrico.

IV.3. Color del fruto de pimiento morrón.

En el cuadro 5 se muestra que para color en la coordenada de L (“L” representa la diferencia ente la luminosidad L=100 y la oscuridad L=0), no se encuentra ninguna diferencia entre tratamientos lo cual significa que los frutos evaluados tenían la misma luminosidad 62.4 como se muestra en la Figura 4 marcada con un punto rojo (●) sobre la línea 0-100. En la figura 4 también se señala que los resultados obtenidos de la coordenadas a y b (“a” diferencia entre verde (-a) y rojo (+a), “b” diferencia entre amarillo (+b) y azul (-b) se localizan en el área del cuadro rojo.

Cuadro 5. Efecto de los inoculantes microbianos en variable de color en sus tres coordenadas L, A y B en fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.

Tratamiento	Color		
	L	A	B
C	61.29 a	2.75 abc	57.20 a
AZ10 ⁴	60.51 a	7.94 a	53.77 a
AZ10 ⁶	63.90 a	-2.33 bcd	56.15 a
G25	62.29 a	4.54 ab	56.54 a
G50	62.82 a	3.96 ab	55.88 a
AZ10 ⁴ + G25	62.85 a	-3.35 cd	55.12 a
AZ10 ⁴ + G50	62.72 a	-3.04 cd	54.25 a
AZ10 ⁶ + G25	61.78 a	-1.34 bcd	51.72 a
AZ10 ⁶ + G50	63.86 a	-4.49 d	57.74 a

Col L: Representa la diferencia ente la luminosidad y la oscuridad. Letras diferentes por columna indican las diferencias estadísticas según Tukey (p<0.05) como resultado de las inoculaciones de *Azospirillum* y Micorrizas en diferentes concentraciones y un testigo: C.

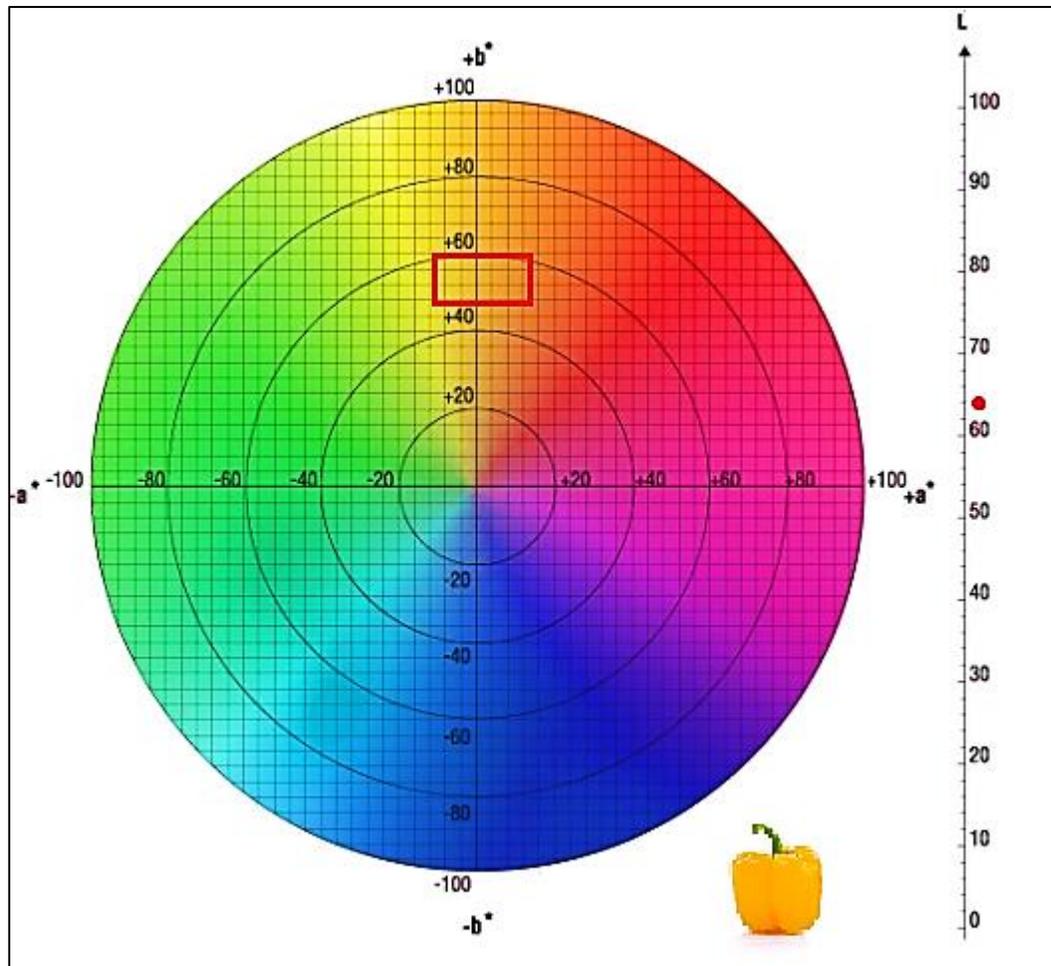


Figura 4. Espacio de color LAB (Hunter, 1948) modificado.

V. CONCLUSIÓN

De la investigación llevada a cabo con el objetivo de evaluar los efectos del cultivo con la aplicación de biofertilizantes sobre el rendimiento y la calidad del fruto de pimiento morrón, se pueden extraer las siguientes observaciones: el mejor tratamiento para todas las variables evaluadas fue la combinación de los microorganismos benéficos, siendo pues el más sobresaliente el tratamiento *Azospirillum* 10^6 UFC combinada con 50 esporas de Micorrizas y una solución nutritiva Steiner 50% N – 50%, este tratamiento mostró mayor tamaño de fruto, peso de fruto, firmeza y rendimiento así como aumento en la concentración de carotenoides, vitamina C, sólidos solubles totales e índice de acidez en el fruto.

Los resultados obtenidos se debieron a la mayor eficiencia en el uso de nutrientes que aportan los microorganismos benéficos y que potencializan la absorción de minerales en el sistema radicular de las plantas. Cabe mencionar que todos los tratamientos que incluyeron bacteria y hongos, sea en acción individual y combinada, superaron los resultados del Control y el cual se basó en el patrón de fertilización tradicional convencional. Curiosamente, la aplicación de microorganismos beneficiosos en combinación dentro del sistema de producción condujo a mejores rendimientos y calidad de fruto a pesar de los aportes de nutrientes de N y P reducidos a la mitad. Teniendo en cuenta la creciente demanda de los consumidores de productos saludables y las políticas actuales dirigidas a sistemas de cultivo ambientalmente sostenibles, el sistema que incluye el apoyo de microorganismos beneficiosos, representa una alternativa coherente a las prácticas agrícolas basadas en insumos químicos que dañan el ecosistema y la salud humana.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adesemoye, A. O.; Torbert, H. A.; Kloepper, J. W. (2009). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Allow Reduced Application Rates of Chemical Fertilizers. *Microbial Ecology*, vol. 58(4), 921-929 pp. ISSN 0095-3628, 1432-184X. Disponible en: DOI 10.1007/s00248-009-9531-y.
- Alarcón, A.; Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agr. Téc. Méx.* 26: 191-203 pp.
- Alloush, G. A.; Zeto, S. K.; Clark, N. (2000). Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhizal effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil. *Jou*
- Almela, L.; López-Roca, J.; Candela, M.; Alcázar, M. (1991). Carotenoid Composition of New Cultivars of Red Pepper for Paprika». - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39, 1606-1609 pp.
- Ávarez-Solís, J. D., Gómez-Velasco, D., León-Martínez, N. S., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2010). Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44(5), 575-586.
- AOAC (1990) Official Method 932.12 Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products Refractometer Method. *Agric. Chem.* 15 th. Washington, D.C. 1298-1300 pp.
- AOAC (2005) Official Method 942.15. Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of AOAC International, ed. 18, Cap. 37, 10 pp.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. 967.21. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington Virginia E.U. p.1000-1050.
- Armenta B., C. García G., J. R. Camacho B., M.I A. Apodaca S., L. G. Montoya y E. Nava P. Ra Ximhai. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. enero-abril, año 2010/Vol. 6(1). Universidad Autónoma Indígena de México Mochichahui, El Fuerte, Sinaloa. 51-56 pp.

- Babalola, O. O. (2010). Beneficial bacteria of agricultural importance. *Biotechnology Letters*, vol. 32(11), 1559-1570 pp. ISSN 0141-5492, 1573-6776. Disponible en: DOI 10.1007/s10529-010-0347-0.
- Báez-Sañudo M.; Siller-Cepeda J.; Muy-Rangel D.; Contreras-Martínez R.; Contreras-Angulo L. (2005). Deshidratación y pérdida de firmeza en chiles morrones de colores almacenados bajo simulación de mercadeo. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sinaloa México. Second World pepper Convention.
- Balemi, T., Pal, N., & Saxena, A. (2007). Response of onion (*Allium cepa* L.) to combined application of biological and chemical nitrogenous fertilizers. *Acta Agriculturae Slovenica*, 89(1), 107.
- Bashan, Y.; Holguin, G.; De Bashan, L. E. (2004). *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology* 50:521–577 pp.
- Bellone C. H.; Carrizo de Bellone S. (2001). *Azospirillum brasilense* induce la producción de jasmonatos en raíces de caña de azúcar. III Reunión Nacional Científico Técnica de biología del Suelo- Fijación biológica del Nitrógeno. Universidad Nacional de Salta, facultad de Ciencias Naturales. 283-286 pp.
- Botella-Pavia, P.; Rodríguez-Concepción, M. (2006). Carotenoid biotechnology in plants for nutritionally improved foods. *Physiol. Plant*, 126, 369–381pp.
- Bottini, R.; Cassán, F.; Piccoli, P. (2004). Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase". *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol 65(5), 497-503 pp. ISSN 0175-7598, 1432-0614. Disponible en: DOI 10.1007/s00253-004-1696-1.
- Burdman, S., Jurkevitch, E., Soria-Díaz, M. E., Serrano, A. M. G., & Okon, Y. (2000). Extracellular polysaccharide composition of *Azospirillum brasilense* and its relation with cell aggregation. *FEMS microbiology letters*, 189(2), 259-264.

- Burns, J.; Fraser, P. D.; Bramley, P. M. (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62: 939-947pp.
- Calaneo, 2012. Historia e historias del pimiento. Consulta 12 junio 2017. Disponible en: <http://es.calaneo.com/read/001627763d1100b948326>
- Camargo-Ricalde S. L. (2009). Micorrizas. COSMOS, Enciclopedia de las Ciencias y la Tecnología en México. Tomo Ciencias Biológicas. CONACYT, UAM y ICyTDF. México. 110-113 pp.
- Camargo S. L.; Montaña, N. M.; De la Rosa-Mera, C. J.; Montaña S. A. (2012). Revista Digital Universitaria 1 de julio 2012 • Vol 13 (7) • ISSN: 167-179 pp.
- Cassán, F., D.; Perrig, V.; Sgroy, O.; Masciarelli, C. (2009). *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *European Journal of Soil Biology* 45: 28-35 pp.
- Castellanos, J. Z.; Borbón, C. M. (2009). Panorama de la horticultura protegida en México, In: Manual de Produccion de Tomate en Invernadero. (ed.). Intagri. Guanajuato, México. 1-18pp.
- Castillo, C.; Sotomayor, L.; Ortiz, C.; Leonelli, G. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*capsicum annum* l.). *Chileanjar*, 69(1), 79-87 pp.
- 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 annum*). *LWT - Food Science and Technology*. 44:363-369 pp.
- Deepa, N.; Kaur, K. C.; George, B.; Singh, B.; Kapoor, H. C. (2007). Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes during maturity. *LWT* 40: 121-129 pp.

- Desgan, Y. H.; Kusvaran, S.; Ortas, I. (2008). Responses of soilless grown tomato plants to Arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in recycling and open systems. Sudafrica. Afr. J. Biotech. 7(20):3606-3613 pp.
- Domene R. M.; Segura R. M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. Ficha de transferencia N°5, Alicante España. Disponible en: <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferencia/>
- Ehteshami, S. M. R., Aghaalikhani, M., & Khavazi, K. (2007). Responses of field grown maize plants to phosphate solubilizing microorganisms under varying intensities of water deficit stress. Acta Physiologiae Plantarum, 29(1 Suppl.).
- FAO, (2013). FAOSTAT. Consulta: 12 noviembre 2017. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [último acceso: septiembre 2016].
- Fawzy, Z. F., El-Bassiony, A. M., Li, Y., Ouyang, Z., & Ghoname, A. A. (2012). Effect of mineral, organic and bio-N fertilizers on growth, yield and fruit quality of sweet pepper. Journal of Applied Sciences Research, (August), 3921-3933.
- Finlay, R. D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. Journal of experimental botany, 59(5), 1115-1126.
- Fortis-Hernández, M. (2012). Sustratos orgánicos en la producción de chile pimiento morrón. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(6), 1203-1216 pp.
- Frank, Albert Bernhard. (1961). En: Neue Deutsche Biographie (NDB). Tomo 5. Duncker & Humblot, Berlín, 338 pp.
- Franken, P.; Donges, K.; Grunwald, U.; Kost, G.; Rexer, K.H.; Tamasloukh, M.; Waschke, A.; Zeuske, D. (2007). Gene expression analysis of arbuscule development and functioning Phytochem.68: 68-74 pp.
- Gosling, P.; Hodge, A.; Goodlass, G.; Bending, G. D. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming Agric. Ecosyst. Environ. 113:17-35 pp.

- Guadarrama, P., Sánchez-Gallén, I., Álvarez-Sánchez, J., & Ramos-Zapata, J. (2004). Hongos y plantas, beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias*, 73, 38-45.
- Guzmán, O. J.; Limón, V. F. (2000). Producción de chile morrón (*Capsicum annum* L.) en la zona oriente del valle de México bajo invernadero-hidroponía. Tesis de licenciatura. UACH. Chapingo, México. 94-106 pp.
- Hernández-Fuentes, A. D.; Trapala-Islas, C.; Gallegos-Vázquez, R. G.; Campos-Montiel, J. M.; Pinedo-Espinoza S.; Guzmán-Maldonado S. H. (2015). Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from México. *Fruits* 70(2):109-116 pp.
- Infoagro, (2010). El cultivo del pimiento. Consulta 29 noviembre 2017. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento2.htm>
- Kapoor, R.; Sharma, D.; Bhatnagar, A. K. (2008). Arbuscular mycorrhizae in micropropagation systems and their potential applications. *Scientia Horticulturae*. 116:227-239 pp.
- Katzy, E.; Katzy, I. V.; Scheludko. (2001). Effect of the integration of vector pJFF350 into plasmid 85-MDa of *Azospirillum brasilense* SP245 on bacterial flagellation and motility *Russ J Genet*, 37 (2), 129-134 pp.
- Kothari S. L.; Joshi A.; Ochoa-Alejo N. (2010). Chilli peppers: A review on tissue culture and transgenesis. *Biotechnology Advances*. 28: 35-48 pp.
- Lira-Saldivar, R. H., Hernández, A., Valdez, L. A., Cárdenas, A., Ibarra, L., Hernández, M., & Ruiz, N. (2014). La co-inoculación con *Azospirillum brasilense* y *Glomus* intraradices estimula el crecimiento y rendimiento de tomate cherry. *Phyton* (Buenos Aires), 83(1), 133-138.
- Loredo O. C.; López, R-; Espinosa, V. (2004) bacterias promotoras de crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *Terra Latinoam*. 22:225-239 pp.

- Marshal, K., & Vanderleyden, J. (2000). The 'oxygen paradox' of dinitrogen-bacteria. *Biology and Fertility of Soils*, 30(5-6), 363-373.
- Mata, V. H. (2001). Requerimientos nutricionales de chile serrano (*Capsicum annum* L.) con fertirrigación y acolchado plástico. Tesis de Doctor en Ciencias. Edafología. C.P. Montecillo, Edo. De México.
- Morales, G. J. (2013). Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annum* L.) cv 'cannon' obtenido mediante biofertilización. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Consulta 27 noviembre 2017. Disponible: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1276/1/RI000575.pdf>
- Morales Ibarra, M. (2007). Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable. *Estudios agrarios*, 13(36), 93-119.
- Moreno-Pérez E. C.; Mora-Aguilar R.; Sánchez- del Castillo F.; García-Pérez V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*. 2: 5-18 pp.
- Oseni, T. O.; Shongwe, N. S.; Masarirambi, M. T. (2010). Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. *Pakistan. Int. J. Agr.Biol.* 12, 789-792 pp.
- Pereyra, C. M.; Ramella, N. A.; Pereyra, M. A.; Barassi, C. A.; Creus, C. M. (2010). Changes in cucumber hypocotyl cell wall dynamics caused by *Azospirillum brasilense* inoculation. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(1): 62-69 pp.
- Pérez S.; Cabirol N.; George R.; Zamudio L.S.; Fernández, F.J. (2007). O-CAS, a fast and universal method for siderophore detection. *Journal of Microbiological Methods*. 70:127–131 pp.
- Pickersgill, B. (1989). Cytological and genetical evidence on the domestication and diffusion of crops within the Americas. In: "Harris, D.R.; Hillman, G. C. (Eds.)

foragings and farming: the evolution on plant explotation. Unwin Hyman, London“: 426-439 pp.

Phillips, J. M.; Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161 pp.

Rabie, G. H.; Humiany, A. A. (2004). Role of VA mycorrhiza on the growth of cowpea plant and their associative effect with N₂ fixing and P-solubilizing bacteria as biofertilizer in calcareous soil. *J. Food Agric. Environ.* 2, 186-192 pp.

Rao R. T.; Gol B. N.; Shah, K. K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Scientia Horticulturae.* 132: 18–26 pp.

Redecker, D.; Kodner, R.; Graham, L. E. (2000). Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* 289: 1920–1921 pp.

Rivas, S. V. M.; Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, vol. 62(10), ISSN 0022-0957, 1460-2431 pp.

Russo, A. L.; Vettori, C.; Felici, G.; Fiashi, S.; Morini, A. (2009). Enhanced micropropagation response and biocontrol effect of *Azospirillum brasilense* sp 245 on *Prunus cerasifera* L. clone mr. S 2/5 plants. *Journal Biotechnology* 134:312-319 pp.

SAGARPA. 2008. Principales plagas y enfermedades de *Capsicum annum*. Consulta 29 noviembre 2017. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/2543/Principales%20enfermedades%20del%20chile%20capsicum%20annum%20l.pdf?sequence=1>

- Santillana, N., Arellano, C., & Zúñiga, D. (2005). Capacidad del rhizobium de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 47-51.
- Selvakumar, G., Reetha, S., & Thamizhiniyan, P. (2012). Response of biofertilizers on growth, yield attributes and associated protein profiling changes of blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper). *World applied sciences journal*, 16(10), 1368-1374.
- Serrano Martínez, A. (2009). Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento, Guadalupe, Murcia: s.n.
- Serrano Cermeño, Z. (2011). *Prontuario del cultivo de pimiento*. Primera Ed.S.1:Serrano Cermeño.
- Siddiqui, Z. A.; Akhtar, M. S. (2008). Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting rhizobacterium, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Biocontrol Sci. Techn.* 18(3):279-290 pp.
- Simard, S. W.; Durall, D. M. (2004). Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany*, 82: 1140-1165 pp.
- United States Department of Agriculture. USDA. (2013). On-line [<http://www.usda.gov/>]
- Universidad San Francisco de Quito. (2011). Repositorio digital. Consulta 29 agosto 2018. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/865/1/74701.pdf>
- Urrestarazu, M.; Castillo, J. E.; Salas, M. C. (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. Departamento de producción vegetal. Universidad de Almería. Horticultura. Copyright Ediciones de Horticultura. ISSN 1132-2950, Nº 159, 2002, 18-26 pp.
- Usuaga C.; Castañeda, D.; Franco, A. (2008). Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (H.M.A) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de

banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (*Musaceae*). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 61: 4279-4290 pp.

Villegas, J. E.; Rueda, A. M.; Puente, O.; Grimaldo, S. A.; Ponce, J. (2010). Efecto de la inoculación de *Azospirillum halopraeferens* y *Bacillus amyloliquefaciens* en la germinación de *prosopischilensis*. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 12(1): 19-32 pp.

Woodard, H. J., & Bly, A. (2000). Maize growth and yield responses to seed-inoculated N₂-fixing bacteria under Dryland production conditions. *Journal of plant nutrition*, 23(1), 55-65.

Zayed, M. S., Hassanein, M. K. K., Esa, N. H., & Abdallah, M. M. F. (2013). Productivity of pepper crop (*Capsicum annum* L.) as affected by organic fertilizer, soil solarization, and endomycorrhizae. *Annals of Agricultural Sciences*, 58(2), 131-137.

Zepeda, S.; Ambriz, E.; Dasgupta-Schuber, N.; Villegas, E. (2010). Efecto de la interacción *Glomus intraradices*-nitrógeno sobre el pH, acumulación de fósforo y desarrollo de *Tagetes erecta* L. bajo condiciones de agobio hídrico. *Biológicas*, 12(1): 52–56 pp.

Zoilo Serrano Cermeño. (2011). *Prontuario del cultivo de Pimiento*. ISBN-13: 978-84-615-3521-7, ISBN: 84-615-3521-9. Disponible en línea: <http://docplayer.es/12879499-Prontuario-del-cultivo-de-pimiento.html> [último acceso noviembre 2016].

Sitios web de consulta

http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/4132/CIRNE_01020878700040759ok.pdf?sequence=1

<http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/8081/TESIS%20-%20LUZ%20ELENA%20CASTILLEJO%20%C3%81LVAREZ.pdf?sequence=1>

<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792012000100008&script=>

sci_arttext&tlng=en

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-86652014000200017&script=sci_arttext&tlng=pt

http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S0568-25172006000100007&script=sci_arttext