

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



Respuesta del Cultivo de Chile Morrón (*Capsicum annum* L.) a la Inoculación
de Microorganismos Benéficos en Condiciones de Invernadero

Por:

RAÚL ALEJANDRO RAMOS SALAZAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Respuesta del Cultivo de Chile Morrón (*Capsicum annuum* L.) a la Inoculación
de Microorganismos Benéficos en Condiciones de Invernadero

Por:

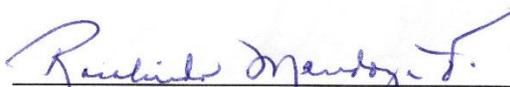
RAÚL ALEJANDRO RAMOS SALAZAR

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobada por el Comité de Asesoría

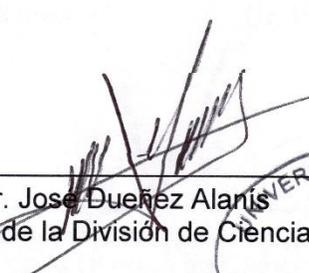

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor Principal



M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Coasesor



M.C. Eneida Adilene Pérez Velasco
Coasesor externo


Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Respuesta del Cultivo de Chile Morrón (*Capsicum annuum* L.) a la Inoculación
de Microorganismos Benéficos en Condiciones de Invernadero

Por:

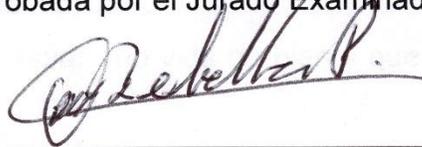
RAÚL ALEJANDRO RAMOS SALAZAR

TESIS

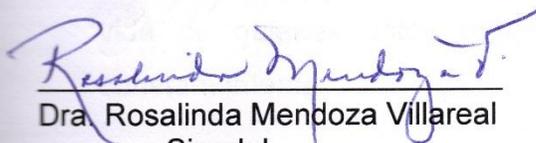
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

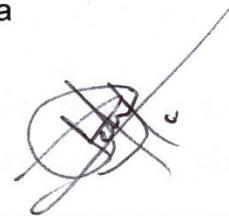
Aprobada por el Jurado Examinador



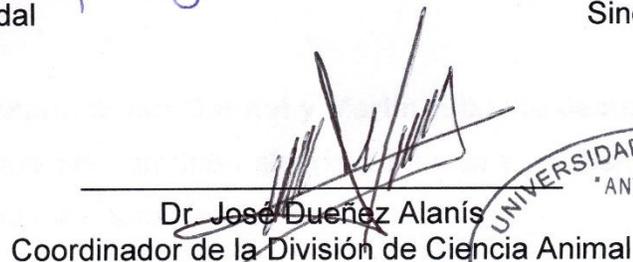
M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla
Presidente



Dra. Rosalinda Mendoza Villareal
Sinodal



Dr. Valentín Robledo Torres
Sinodal



Dr. José Duñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 2018



Agradecimientos

Esta tesis es el resultado de un conjunto de emociones, lugares, sentimientos, hechos y personas; sin las cuales, no hubiera podido ser posible, pero sobre todo por la gente que creyó en mí, por mostrarme que los sueños pueden hacerse realidad, en estos tiempos que tanto requerí de la mano amiga.

Expreso un profundo agradecimiento a las siguientes personas y la institución que siempre llevaré en el corazón:

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

Por abrirme sus puertas para permitir mi formación profesional; en especial al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos por su apoyo en todo y permitir ser parte de sus egresados.

A mis profesores que gracias a ellos he llegado a este momento y puedo compartirlo con ustedes, los que me impartieron clases; gracias por sus enseñanzas, su dedicación y su tiempo; en especial a los profesores del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, quienes además de enseñarme lo que sé de esta carrera hicieron que mi paso por esta universidad fuera agradable.

A toda mi familia, que hemos luchado juntos, en los que puedo confiar y confían en mí, que me han apoyado durante este largo tiempo, gracias por estar en cada momento.

A los docentes investigadores **M.C. Oscar Noé Reboloso Padilla, Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal y a la M.C. Eneida Adilene Pérez Velasco** por su valiosa asesoría e incondicional apoyo en el presente trabajo.

A la **Dra. Xochitl Ruelas Chacón**, por ser un excelente apoyo y un gran ejemplo, quien ha dado lo mejor que tiene al programa de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

A los docentes que intervinieron en mi formación profesional, de los que tuve el privilegio de aprender durante mi estadía en la Universidad.

A mis compañeros de generación les agradezco por compartir ésta etapa de superación en nuestras vidas.

A mis mejores amigos, Sergio Arévalo, Edgardo Beltrán, Noé Cárdenas, Javier Castillo, Luisa Cid, Lucía Estrada, Gissell Franco, Daniel García, Dennis Mireles, Fátima Puente, Naomi Robledo, Andrea Serrano y Eneida Velasco, por formar parte de éste camino llamado vida, a quienes les adeudo la paciencia de soportarme.

Dedicatoria

A mi madre **Lucía Salazar de la Peña**

El más grande pilar que he tenido en la vida, quien me ha dado la fortaleza necesaria para salir adelante.

A mi padre **Martín Ramos Martínez,**

Que me enseñó a llevar una vida de bien y que me hizo la persona que soy.

A mis hermanos

Lucía Concepción y Juan Martín de Jesús, mis compañeros de toda la vida de quienes estoy orgulloso y hacen que aspire a ser mejor constantemente.

A mis sobrinos

Azul Alessandra, Ian Gabriel y Martín Elías de Jesús (más los que se sumen), quienes han dado alegría a mi vida y me han enseñado lo que es el cariño más puro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>Agradecimientos</i>	iv
<i>Dedicatoria</i>	v
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II.- HIPÓTESIS	3
III. OBJETIVO	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Antecedentes y origen del pimiento morrón.....	4
4.2 Importancia económica del pimiento morrón	4
4.2.1 Situación actual de la oferta	4
4.2.2 Situación actual de la demanda.....	4
4.2.3. Producción de pimiento morrón bajo condiciones de agricultura protegida en México.....	6
4.3 Botánica del pimiento morrón.....	8
4.3.1 Taxonomía.....	8
4.3.2 Morfología de la planta.....	8
4.3.3 Fenología del género <i>Capsicum</i>	10
4.4 Exigencias del cultivo.....	11
4.5 Contenido nutricional	13
4.6 La agricultura orgánica como una alternativa de producción de pimiento morrón en México	13
4.6.1 Definición de agricultura orgánica	13
4.6.2 Situación actual	14
4.6.3 Ventajas y desventajas de la producción agrícola orgánica	14
4.7 Microorganismos benéficos en la agricultura.....	15
4.8 Biofertilizantes.....	16
4.8.1 Antecedentes	16
4.8.2 Producción de biofertilizantes	16
4.8.3 Interacciones de las plantas y los microorganismos en la rizósfera	17
4.8.4 Bacterias como biofertilizantes	18

4.8.5 Los hongos como biofertilizantes	19
4.9 Manejo y calidad de los biofertilizantes.....	21
4.9.1 Presentación y aplicación de biofertilizantes	21
4.9.2 Los biofertilizantes en México	22
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 Localización del área de estudio.....	24
5.2 Descripción del área de estudio.....	24
5.3 Material biológico.....	24
5.4 Descripción de tratamientos	25
5.5 Actividades para el establecimiento del experimento.....	25
5.5.1 Preparación del terreno.....	25
5.5.2 Preparación de las soluciones nutritivas	26
5.6 Parámetros evaluados.....	27
5.7 Análisis de los datos	28
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
VII. CONCLUSIÓN.....	33
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales países productores de pimiento morrón en el mundo.....	5
Tabla 2. Temperaturas para el pimiento morrón en sus distintas fases de desarrollo.	12
Tabla 3. Composición nutrimental/100g de pimiento.	13
Tabla 4. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón variedad Lambourgini.	26
Tabla 5. Soluciones nutritivas usadas en el cultivo de pimiento morrón variedad Lambourgini.	26
Tabla 6. Respuesta a las variables de: altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de biomasa y peso seco de biomasa en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.	30
Tabla 7. Respuesta a las variables de: longitud de raíz, peso fresco de raíz y peso seco de raíz en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.	31
Tabla 8. Respuesta a las variables de: peso fresco de fruto, peso seco de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto y rendimiento en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales estados productores de pimiento morrón en México.....	6
Figura 2. Superficie protegida correspondiente a malla sombra e invernadero. .	7
Figura 3. Superficie destinada a los cultivos de mayor importancia en condiciones de agricultura protegida	7
Figura 4. Morfología de la planta de pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	9
Figura 5. Estructura del fruto de pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	10
Figura 6. Ciclo de cultivo de <i>Capsicum annuum</i> L.....	11
Figura 7. Partes de la rizósfera.....	17
Figura 8. a) Arbúsculo desarrollado, b) Vesícula en raíces	20

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento del cultivo de pimiento morrón con la aplicación de diferentes concentraciones de hongos micorrízicos y bacterias fijadoras de nitrógeno. El estudio fue realizado en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila, durante el desarrollo de cultivo en la temporada mayo-noviembre de 2016. El diseño experimental utilizado fue un modelo en bloques completamente al azar, considerando nueve tratamientos con 20 repeticiones cada uno: T1= testigo (solución Steiner); T2= *Azospirillum* 10⁴ UFC y T3= *Azospirillum* 10⁶ UFC (50%N-100%P); T4= 25 esporas *Glomus* y T5= 50 esporas *Glomus* (100%N-50%P); T6= *Azospirillum* 10⁴+25 esporas *Glomus*, T7= *Azospirillum* 10⁴+50 esporas *Glomus*, T8= *Azospirillum* 10⁶+25 esporas *Glomus* y T9= *Azospirillum* 10⁶+50 esporas *Glomus* (50%N-100%P). El sustrato consistió en una combinación de lombricomposta (60%), peat moss (20%) y perlita (20%). El material vegetativo usado fueron plantas de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L), variedad: Lambourgini, tipo: blocky, color: amarillo. Se evaluó: altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco de biomasa, longitud de raíz, peso fresco y seco de raíz, peso fresco y seco de fruto, diámetro ecuatorial y polar de fruto (índice de redondez de fruto) así como el rendimiento del cultivo. Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento con combinación de microorganismos benéficos en una concentración de 10⁶ UFC + 50 esporas mostró diferencias significativas en relación al tratamiento testigo en las variables de altura de planta (aumento del 47%), diámetro de tallo, longitud de raíz, peso de fruto (324g) y rendimiento de 188.5 Ton/Ha/año. En las variables de peso seco de biomasa, peso seco y fresco de raíz no existieron diferencias entre los tratamientos evaluados.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L, micorrizas, *Azospirillum* sp.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de chile morrón/pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) (*Solanaceae*) tiene gran importancia mundial ocupando el tercer lugar en superficie cultivada en invernadero y segundo lugar en importancia económica. En México existen 20,000 hectáreas bajo condiciones de agricultura protegida de las cuales 12,000 son invernaderos y el resto corresponden a macrotúneles y malla sombra, el pimiento ocupa una superficie sembrada de aproximadamente 3,200 hectáreas representando el 16% de la superficie total sembrada bajo condiciones protegidas (SAGARPA 2012). Este cultivo tiene la ventaja de poder ser producido en diferentes niveles tecnológicos que van desde sistemas convencionales en campo abierto (producción de $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), malla sombra, invernaderos de baja, mediana y alta tecnología. El rendimiento del cultivo varía dependiendo del sistema del cultivo alcanzando hasta 28 Kg/m^2 ($280 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) en invernaderos de alta tecnología donde se cuenta con un adecuado control para el cultivo (SIAP, 2010).

A pesar de la gran importancia del cultivo de pimiento, este se enfrenta a diversos factores limitantes en su producción, los impedimentos que ofrecen más dificultad al aumento de los rendimientos, están más relacionadas con el medio ambiente y las condiciones climatológicas que con la capacidad de producción de la propia planta; en este sentido existen enormes variaciones en los rendimientos. El cultivo bajo plástico presenta algunas limitantes en los procesos fisiológicos durante el invierno y la primavera. Las temperaturas bajas dificultan el crecimiento vegetativo y el cuajado, asimismo las temperaturas muy altas provocan la caída de las flores y la humedad excesiva por su parte dificulta las actividades vegetativa y reproductora. El camino a seguir para aumentar la producción, consiste en profundizar en el entendimiento de los aspectos fisiológicos relacionados con ella y en cultivar plantas mejor adaptadas a las condiciones limitantes mencionadas (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010).

Por las problemáticas antes mencionadas es necesario buscar nuevas alternativas para hacer más eficaz la producción del cultivo de pimiento, sin olvidar que actualmente en la sociedad han surgido grupos, los cuales se han hecho cada vez más exigentes en los alimentos que consumen, los cuales prefieren particularmente alimentos frescos, libres de agroquímicos, inocuos y con un alto valor nutricional (Márquez, *et al.*, 2006), por estas razones el uso de las prácticas agrícolas basadas en la agricultura orgánica, se han convertido no solo en una alternativa frente a estos requerimientos, sino en una necesidad.

Teepe (2004) menciona que es importante comenzar a replantear un cambio en nuestros sistemas de producción agrícola, por algunas prácticas o sistemas que ocasionen menos problemas, y a su vez, nos ayuden a revertir el daño causado al medio ambiente y a nuestros suelos, también cita que algunos de los sistemas de producción que pueden ayudar a disminuir la contaminación ambiental son: los orgánicos, hidropónicos y los de mínima o nula labranza. En respuesta a la necesidad de generar cultivos con mínima o nula presencia 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 nutrientes (Vessey, 2003).

El uso de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y rizobacterias, han causado beneficios en cultivos como cereales, hortalizas y granos; dichos microorganismos se caracterizan por producir metabolitos secundarios (Barazani y Friedman, 1999), fitohormonas (Ramos-Solano *et al.*, 2008), fijan Nitrógeno y tienen capacidad de control de enfermedades y patógenos, siendo útiles para las plantas, reflejándose en su estado nutricional y de calidad, al observarse un aumento en la producción y rendimientos del mismo cultivo (Harman, 2006).

En vista de las problemáticas que enfrenta el cultivo de chile pimiento en México y el deterioro ambiental causado por el inmoderado uso de fertilizantes químicos, se planteó la siguiente hipótesis:

II.- HIPÓTESIS

La aplicación de microorganismos benéficos en el cultivo de pimiento morrón mejorará las características agronómicas e incrementará el rendimiento del cultivo.

III. OBJETIVO

Evaluar la respuesta del cultivo de chile morrón por la inoculación de *Azospirillum sp.* y *Glomus intraradices* bajo condiciones de invernadero.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Antecedentes y origen del pimiento morrón

La planta de pimiento morrón es originaria de México, *Capsicum annuum* L. es una planta de la familia de las solanáceas, en el siglo XVI se introdujo en España luego del descubrimiento de América y fue el propio Cristóbal Colón quien lo llevó a España por primera vez como se consta en una carta escrita por Pedro M. de Angleria fechada en septiembre de 1493. Lo cual convierte al pimiento en una de las primeras plantas introducidas en Europa procedentes del Nuevo Continente (Abu-Zahra, 2012). México es centro de origen, diversidad y domesticación del cultivo de 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 al menos en dos zonas diferentes: un tipo *Capsicum annuum* en México y un tipo *Capsicum chinense* en la Amazonía (Pickersgill, 1989).

4.2 Importancia económica del pimiento morrón

4.2.1 Situación actual de la oferta

Nivel internacional

Los principales países productores de pimiento morrón del periodo comprendido 2004-2013 (Tabla 1) son China en primer lugar con 16,120,406 ton en 2014, el cual se ha mantenido en su puesto desde 2004; posteriormente se encuentran México, Turquía con una producción por encima de dos millones de toneladas, Indonesia y España presentaron una producción por encima de un millón de ton (FAO, 2014).

4.2.2 Situación actual de la demanda

Nivel nacional

La producción de pimiento morrón en nuestro país sobrepasa los 22500 millones de pesos, esto ubica al cultivo de chile morrón en la lista de los 20 principales

productos que comercializa el país a nivel internacional, informó la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, esta dependencia federal menciona que el consumo per cápita de pimienta en México es de 16 kilogramos al año (SAGARPA, 2017).

Tabla 1. Principales países productores de pimienta morrón en el mundo.

País	Producción (Ton)
China	16,120,406
México	2,732,635
Turquía	2,127,944
Indonesia	1,875,095
España	1,130,340
EE.UU	914,490
Países Bajos	370,000

FAO, 2014.

México ha ocupado el segundo lugar en producción mundial de pimienta morrón desde 2004 a la fecha con una producción que supera las 2.3 millones de toneladas de las cuales se exportan cerca de 900 mil, adquiridas principalmente por el país vecino de EE.UU (TRADE MAP, 2016). El estado de Chihuahua es el principal productor de este fruto con 562 mil toneladas al año; le siguen los estados de Sinaloa con 556 mil y el estado de Zacatecas con 348 mil toneladas (Fig. 1) (SAGARPA, 2017).

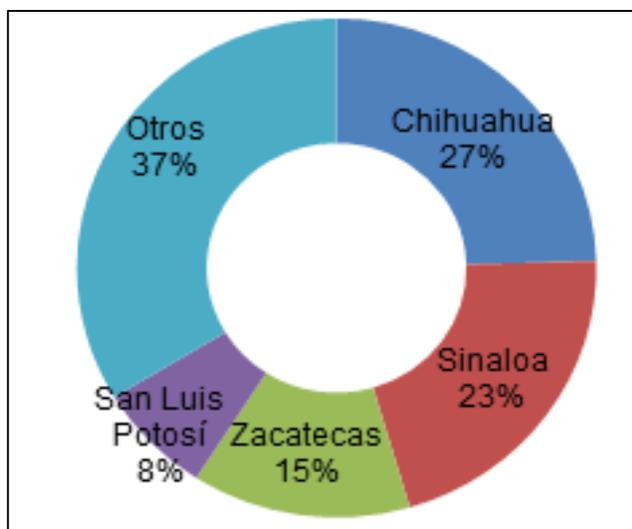


Figura 1. Principales estados productores de pimiento morrón en México (SAGARPA, 2017).

4.2.3. Producción de pimiento morrón bajo condiciones de agricultura protegida en México

La agricultura protegida es una alternativa para la producción agrícola en México, al permitir el desarrollo de cultivos en un ambiente controlado, usar en forma más eficiente el agua y alcanzar rendimientos hasta diez veces mayor en relación con campo abierto. Por estas ventajas su crecimiento ha sido exponencial al pasar de sólo 700 hectáreas (has) a 23 mil 250 has entre los años 2000 y 2015, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA, 2016). De acuerdo con los datos de SAGARPA (2016) el estado que ocupa el primer lugar en agricultura protegida es Sinaloa (4,744 has); seguido de Jalisco (3,310 has); Baja California (2,647); Estado de México (1,624 has); Chihuahua (1,496 has); Sonora (1,175 has); Puebla (1,045 has); Michoacán (1,000 has); San Luis Potosí (894 has), Baja California (798 has) y Guanajuato (655 has). De las más de 20 mil hectáreas bajo condiciones protegidas 9 mil corresponden a malla sombra (5 mil 520 hectáreas) e invernaderos (3 mil 440 hectáreas). En la figura 2 se muestra gráficamente la superficie ocupada de malla sombra e invernadero de 2008-2016. (AMHPAC, 2016).

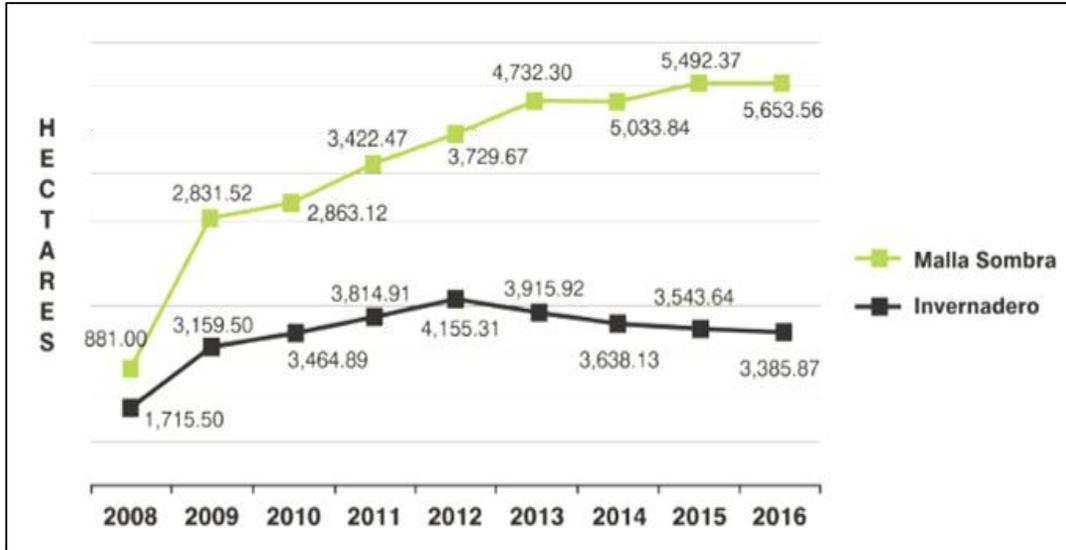


Figura 2. Superficie protegida correspondiente a malla sombra e invernadero (AMHPAC, 2016).

Para el 2016, la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A.C. (AMHPAC) informó que el 63.7% de la superficie protegida se destinó al cultivo de tomates, 20.3% al cultivo de pimiento morrón, 15.1% al cultivo de pepinos y el 0.9% a otros cultivo (SIAP, 2016).

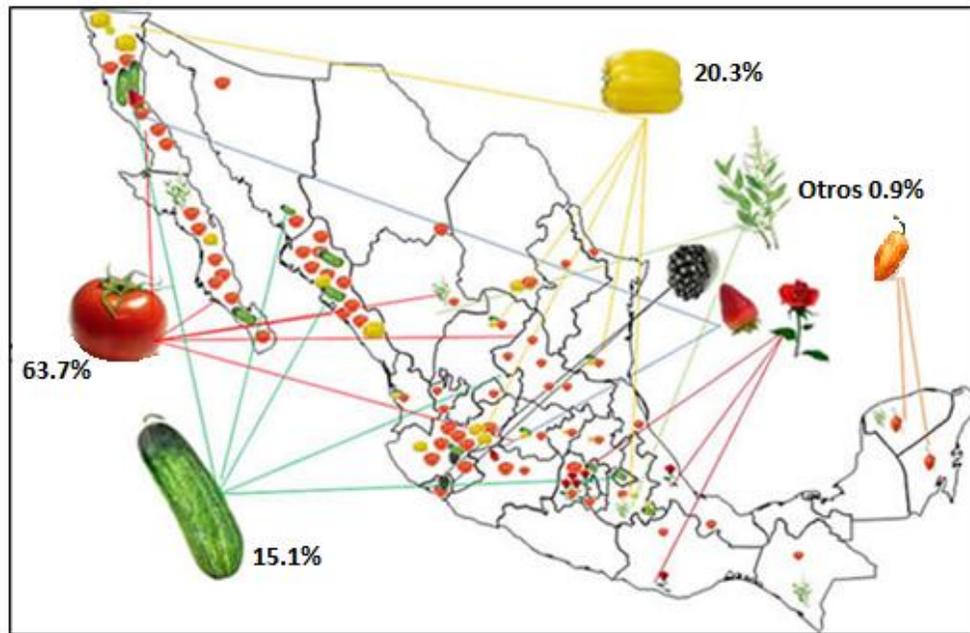


Figura 3. Superficie destinada a los cultivos de mayor importancia en condiciones de agricultura protegida (SIAP, 2016).

4.3 Botánica del pimiento morrón

4.3.1 Taxonomía

Los pimientos pertenecen a la familia 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).

4.3.2 Morfología de la planta

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).

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).

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).

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 que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja (InfoAgro, 2010; Serrano, 2009).

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 4. Morfología de la planta de pimiento (*Capsicum annuum* L.) (asba-art.org, 2016).

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).

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).

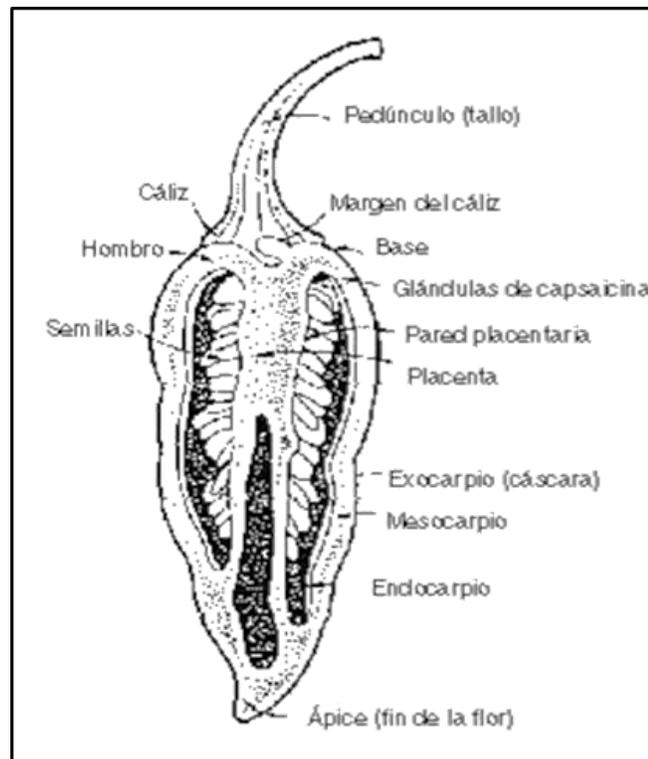


Figura 5. Estructura del fruto de pimiento (*Capsicum annuum* L.) (Tamaro, 1974).

4.3.3 Fenología del género *Capsicum*

a) Germinación y emergencia: varía entre 8 a 12 días, primero emerge una raíz pivotante y hojas cotiledonales; el crecimiento de la parte aérea procede muy lentamente, cualquier daño que ocurra durante este período tiene consecuencias letales (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).

b) Crecimiento de la plántula: desarrollo de las hojas verdaderas, ocurre crecimiento lento de la parte aérea y se comienzan a desarrollar raíces secundarias laterales (Moreno-Pérez *et al.*, 2011).

c) Crecimiento vegetativo: la tasa de crecimiento radicular se reduce y se incrementa el desarrollo de follaje y tallos (Mundarain *et al.*, 2005)

d) Floración y fructificación: comienzan a aparecer las primeras flores una vez que la planta ha alcanzado su madurez; la fructificación tarda de 15 a 20 días desde la fecundación de las flores hasta el momento de la recolección (Mundarain *et al.*, 2005).

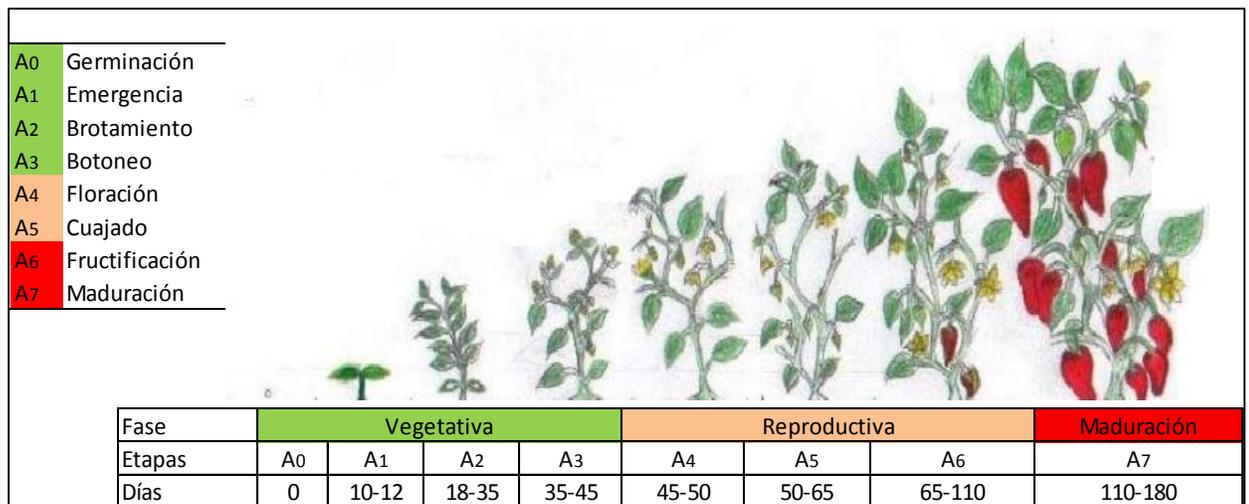


Figura 6. Ciclo de cultivo de *Capsicum annuum* L. (Nuez et al., 2009).

4.4 Exigencias del cultivo

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la acción sobre uno de estos incide sobre el resto (Serrano, 2011).

Temperatura

El pimiento morrón es muy exigente en temperatura, más que el tomate pero menos que la berenjena. El pimiento es un cultivo exigente en cuanto a las temperaturas si es que se quiere obtener una buena producción, teniendo rangos

bien definidos en cada una de las distintas fases de su desarrollo (Serrano, 2011). En la tabla 2 se muestran las temperaturas requeridas por el cultivo de pimiento morrón.

Tabla 2. Temperaturas para el pimiento morrón en sus distintas fases de desarrollo.

Fases del cultivo	Temperatura (°C)		
	Óptima	Mínima	Máxima
Germinación	20-25	13	40
Crecimiento vegetativo	20-25 (día) 16-18 (noche)	15	32
Floración y fructificación	26-28 (día) 18-20 (noche)	18	35

Serrano, 2011.

Hídricas y luminosidad

El cultivo del pimiento requiere humedades relativas alrededor del 50 al 70 %, debido a que humedades superiores favorecen al desarrollo de enfermedades aéreas y ocasiona problemas en la fecundación; en cuanto a la luminosidad el pimiento morrón es muy exigente sobre todo en sus primeros estadios de desarrollo y la floración (Serrano, 2011).

Suelo

El suelo más adecuado para este cultivo es franco-arenoso, profundos con buen drenaje, esto debido a que las raíces de este cultivo son susceptibles a la asfixia radicular, el suelo también debe contener de 3 a 5% de materia orgánica (Flores y plantas, 2011).

pH y salinidad

El pH en el agua de riego para el pimiento morrón es de 5.5 a 7 (Flores y plantas, 2011) y la salinidad alta es un factor limitante para este cultivo, al respecto Núñez y colaboradores (2003) mencionan que una conductividad eléctrica de 2dS/m disminuye el rendimiento en un 10%, y de un 25 a 50% de pérdida cuando la conductividad es de 3 a 5 dS/m respectivamente.

4.5 Contenido nutricional

El pimiento posee un elevado valor nutritivo, ya que es fuente de vitamina A, B, C, E y minerales. 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 (Universidad San Francisco de Quito, 2011).

Tabla 3. Composición nutrimental/100g de pimiento.

Compuesto	Cantidad
Agua	92.19 g
Carbohidratos	6.43 g
Proteínas	0.89 g
Fibra	2.0 g
Calcio	9 mg
Potasio	177 mg
Fósforo	19 mg
Vitamina A	5700 U.I
Ác. Ascórbico	190 mg

USDA, 2011.

4.6 La agricultura orgánica como una alternativa de producción de pimiento morrón en México

4.6.1 Definición de agricultura orgánica

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y, al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el ambiente y la salud humana (FAO, 2012).

4.6.2 Situación actual

La Agricultura orgánica ha crecido a un ritmo acelerado en el mundo y en Latinoamérica no ha sido la excepción. De 130 países encargados de la producción orgánica, el 69% son países en desarrollo. En los últimos años este mercado se duplicó y la demanda mundial de estos productos crece a una tasa promedio del 20% anual (Willer y Yussefi, 2001). México ocupa el lugar 16 en superficie sembrada, el tercero con respecto al número de productores y a su vez, es el país con mayor diversidad de cultivos producidos orgánicamente, contando con alrededor de 81 diferentes (Gómez *et al.*, 2010).

4.6.3 Ventajas y desventajas de la producción agrícola orgánica

Con base en la SENASICA-SAGARPA (2014) se presentan las siguientes:

Ventajas:

- Producción sin utilización de agroquímicos
- Conservación de la fertilidad del suelo
- Uso sostenible del suelo y otros recursos
- Amigable con el medio ambiente
- Uso de conocimientos tradicionales
- Uso de policultivos
- Proceso productivo auto-sostenible.

Desventajas:

- Tecnología y asistencia técnica limitada
- Baja disponibilidad de insumos orgánicos
- Dificultad en garantizar el cumplimiento de métodos orgánicos
- Certificación obligatoria y costosa
- Mercados limitados con altas exigencias
- Proceso de reconversión largo y costoso
- Difícil renuncia a insumos químicos y reducción del uso de maquinaria.

4.7 Microorganismos benéficos en la agricultura

De acuerdo a Reyes *et al.* (2008) el suelo es un hábitat complejo donde un gran número de poblaciones microbianas interactúan con los diversos sustratos, estando muchas de estas poblaciones asociadas a las raíces de las plantas en las zonas rizosféricas. La raíz, además de las funciones básicas de anclaje, absorción y transporte de agua y nutrientes al sistema vascular, coloca a la planta en contacto con la rizósfera, es decir, la zona del suelo que rodea a las raíces de las plantas, donde abundan los microorganismos.

En la rizósfera hay expresión de relaciones simbióticas mutualistas entre microorganismos y plantas, debido a la exudación de nutrimentos orgánicos útiles para el metabolismo microbiano ya que la raíz proporciona un nicho ecológico. Los microorganismos, a la vez, participan en numerosos beneficios, como: influencia en el crecimiento radical, regulación de la actividad metabólica de la raíz e influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como de los contaminantes (González-Chávez, 2005).

Medina *et al.* (2009) describen que en nuestros días, es común encontrar explotaciones agrícolas con diferente nivel de deterioro en su rizósfera y este nivel depende de la intensidad, frecuencia y duración de las aplicaciones de agroquímicos. Mencionan también que estos microorganismos benéficos utilizados como biofertilizantes, tienen una relación mutualista conocida como simbiosis. Si se forman estructuras especializadas dentro de las células de las plantas (nódulos, vesículas, etc.) se denomina simbiosis obligada o estricta, y cuando el microorganismo sobrevive sin la planta y se asocia en beneficio de ambos, la simbiosis se conoce como asociativa o facultativa.

Los microorganismos contribuyen con el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos, pero para que éstos sean beneficiados es indispensable que las bacterias u hongos se encuentren vivos. El biofertilizante debe contener varios millones de bacterias por gramo de soporte sólido o por mililitro, en caso de ser acuoso. Una vez que la semilla germina y las raíces

empiezan a desarrollarse, las bacterias se multiplicarán y colonizarán la superficie de las raíces y promoverán el crecimiento de las plantas (Caballero, 2009).

4.8 Biofertilizantes

4.8.1 Antecedentes

Los biofertilizantes se pueden definir como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de Nitrógeno, solubilizadoras de Fósforo o potencializadoras de diversos nutrimentos (Dibut-Álvarez, 2006). De manera sintetizada, podemos decir que son productos que contienen microorganismos, que al ser inoculados pueden vivir asociados o en simbiosis con las plantas y le ayudan a su nutrición y protección (Vessey, 2003). Estos productos no contaminan ni degradan la capacidad productiva del suelo, a diferencia de los fertilizantes químicos, además regeneran la población microbiana y le brindan protección al sistema radicular de las plantas contra microorganismos patógenos (Morales, 2009).

4.8.2 Producción de biofertilizantes

La producción de biofertilizantes se centra en países desarrollados donde es una práctica adoptada. Se fabrican por empresas gubernamentales o privadas e incluyen micorrizas, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y agentes de biocontrol como *Trichoderma*. Los inoculantes son inocuos y se requiere de un cuidadoso manejo para no disminuir su efectividad. En muchos países en desarrollo no hay industrias de inoculantes, lo cual hace aún más difícil su popularización. Además, en muchas áreas rurales hay una renuencia básica a usar bacterias y hongos como microorganismos benéficos, en estas culturas los microbios están asociados con enfermedades humanas y de animales (Bashan, 2008).

En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), apoyadas por el

gobierno federal y/o por gobiernos estatales. A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución (Aguado-Santacruz, 2012).

4.8.3 Interacciones de las plantas y los microorganismos en la rizósfera

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. Las interacciones entre las plantas y los microorganismos benéficos ocurren principalmente en la porción del suelo que se encuentra en contacto con la raíz (Aguado-Santacruz, 2012)

Moreno-Gómez (2012) menciona que la rizósfera se define como el volumen de suelo asociado e influenciado por las raíces de las plantas 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 (Fig. 6).

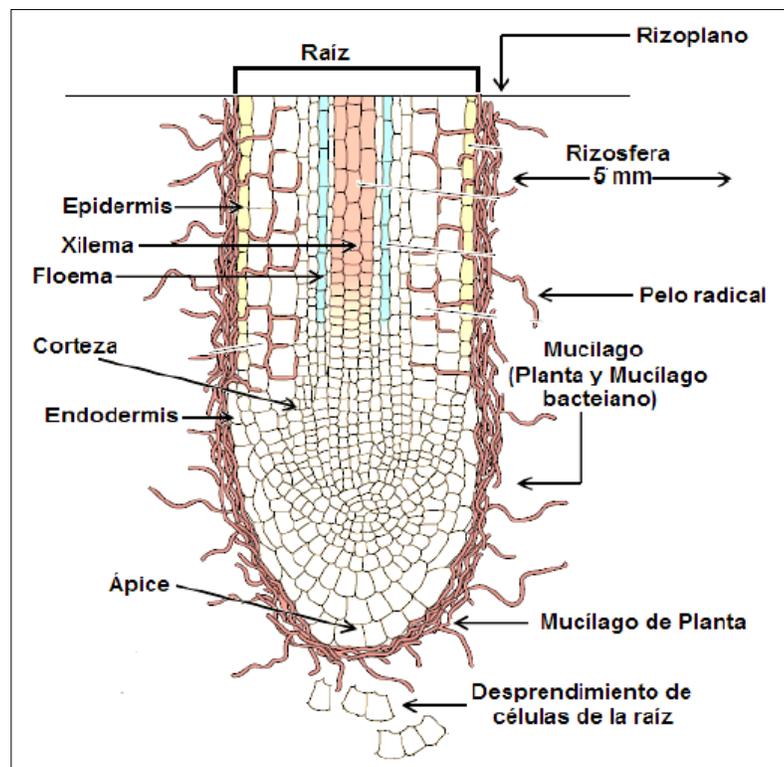


Figura 7. Partes de la rizósfera (Lugtenberg y Kamilova, 2009).

4.8.4 Bacterias como biofertilizantes

Las bacterias más usadas para la formulación de inoculantes incluyen: fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. Estas bacterias al estar en contacto con la rizósfera emplean complejos enzimáticos y estos a su vez producen compuestos que son asimilables para las plantas (Aguado-Santacruz, 2012).

De acuerdo a Lugtenberg y Kamilova (2009) (BPCV) los medios por los cuales las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) pueden mejorar el estado nutricional de las plantas son:

- 1) Fijación biológica de N₂
- 2) Producción de reguladores del crecimiento, vitaminas y otras sustancias
- 3) Disponibilidad de nutrimentos en la rizósfera
- 4) Incremento en el área superficial de la raíz
- 5) Control de microorganismos patogénicos
- 6) Resistencia a pesticidas
- 7) Capacidad competitiva

Estos microorganismos generalmente provienen de un cultivo puro del microorganismo aislado de la raíz de alguna planta de interés y se multiplica en un medio de cultivo específico para luego ser transferido al sustrato, y de esta forma son utilizados en la agricultura (Medina *et al.*, 2009).

Azospirillum brasilense

Actualmente son reconocidas seis especies en el género *Azospirillum*. Las dos primeras descritas fueron *Azospirillum lipoferum* y *Azospirillum brasilense* (Tarrand *et al.*, 1978). El género *Azospirillum spp.*, pertenece al grupo de las denominadas rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, por lo tanto se les emplea habitualmente como inoculantes (Bashan y Holguin, 1998).

Reis *et al.* (2000) indican que la inoculación de plantas con *Azospirillum* puede provocar cambios significativos en varios parámetros de crecimiento, los cuales pueden afectar o no el rendimiento del cultivo. En gran número de artículos

científicos se describen los efectos que provoca la inoculación con diferentes cepas de *Azospirillum*, medido en el aumento de peso seco total, contenido de nitrógeno de hojas, granos y brotes, floración y aparición temprana de la espiga, número de espigas y granos en estas, peso y tamaño del grano, altura de la planta y tamaño de la hoja, índice de área foliar y tasa de germinación (Velazco *et al.*, 1999; Pandey *et al.*, 1998; Woodard y Bly, 2000). Bashan *et al.* (2004) coinciden al señalar que *Azospirillum* es uno de los géneros de rizobacterias más estudiados en la actualidad, debido a su capacidad de mejorar significativamente el crecimiento y desarrollo, así como el rendimiento de numerosas especies vegetales de interés agrícola. Se ha utilizado con éxito como biofertilizante en trigo, maíz, sorgo, arroz, cebada, avena, cítricos, y caña de azúcar entre otros.

Fijación de Nitrógeno

Algunas de las bacterias son versátiles y pueden presentar varios mecanismos para promover el crecimiento de las plantas. La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es la reducción enzimática de nitrógeno atmosférico (N_2) a amonio (NH_4) (Sessitsch, 2002). Las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno desempeñan un papel más importante aún en la producción de cultivos. Los miembros de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y otros infectan las raíces de las leguminosas como la soja, las judías, los guisantes, los cacahuates, la alfalfa y el trébol. Estas bacterias conocidas como *Rhizobia*, están adaptadas a ciertas especies de legumbres, en las que forman nódulos de la raíz. El N se fija mediante un proceso de simbiosis entre la planta y la bacteria. La planta le suministra a la bacteria condiciones anaerobias y nutrientes y la bacteria fija el nitrógeno para que la planta pueda incorporarlo a las proteínas (Tortora *et al.*, 2007).

4.8.5 Los hongos como biofertilizantes

Existen definidos seis tipos de simbiosis que forman micorrizas en las plantas terrestres, pero solo dos de estas seis son una alternativa de uso en los sistemas de producción de plantas: simbiosis micorrízica arbuscular (HMA) y simbiosis

ectomicorrízica (HMC) (Sylvia, 1999). Los HMA son microorganismos del suelo que forman simbiosis con el 80% de las plantas terrestres, formando arbuscúlos, vesículas (en algunas especies) e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan (Vierheilig, 2004). Esta asociación simbiótica entre el hongo y la planta, actúa como un complemento de la raíz de la planta en la toma de nutrientes, especialmente en la absorción de fósforo y aumento de la tolerancia a stress abiótico (Requena, 2007). También es importante notar que los HMA permite a la planta usar de manera más eficiente los nutrientes del suelo, reducir los problemas de contaminación de éste causado por el uso excesivo de fertilizantes químicos (Cuenca, 2007).

La simbiosis planta-hongo

Quilambo (2003) menciona que 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, arbuscúlos (Fig. 8a) y vesículas (Fig. 8b).

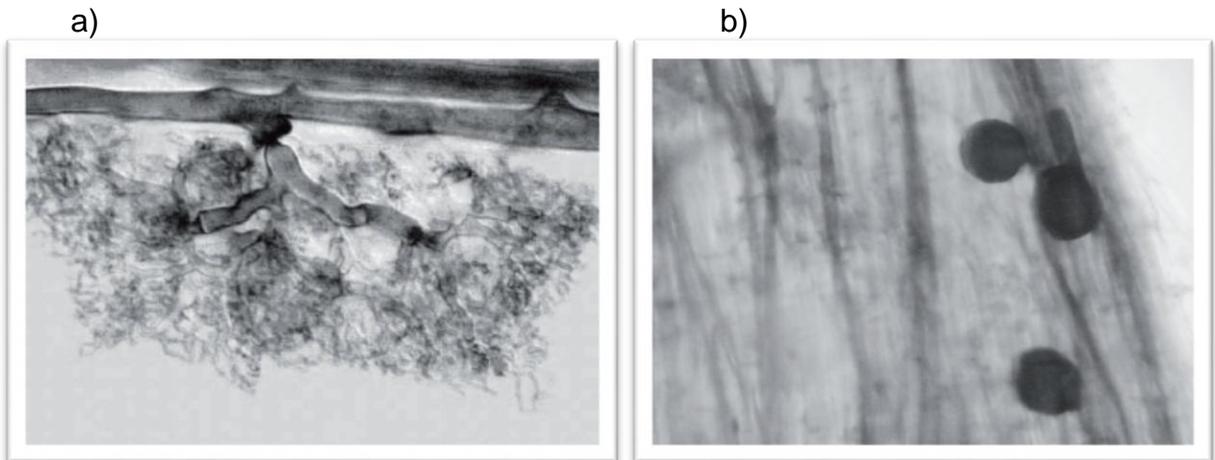


Figura 8. a) Arbúsculo desarrollado, b) Vesícula en raíces (Peterson *et al.*, 2004).

4.9 Manejo y calidad de los biofertilizantes

El proceso de formulación de un biofertilizante comprende toda la serie de procedimientos y tecnologías posteriores a la multiplicación de los microorganismos promotores de crecimiento, enfocados a su preservación en una presentación comercialmente aceptable que permita mantener una viabilidad máxima del producto durante el mayor tiempo posible. En la práctica, la elección de la formulación adecuada de un biofertilizante determinará su éxito (Fages, 1992).

Los inoculantes deben tener una cantidad adecuada de microorganismos benéficos que al ser aplicados al suelo o la planta les permita mantener un número mínimo efectivo de microorganismos capaces de establecer una asociación funcional con las plantas. En otras palabras, un buen acarreador debe tener la capacidad de liberar un número suficiente de microorganismos viables en condiciones fisiológicas adecuadas durante un tiempo considerable (Fages, 1992; Trevors *et al.*, 1992) y no debe alterar las capacidades de promoción de crecimiento de los microorganismos.

4.9.1 Presentación y aplicación de biofertilizantes

Bashan en 1998 menciona que los inoculantes microbianos pueden ser:

- a) Polvos: forma de aplicación más empleada y constituye el medio más adecuado para inocular las semillas antes de ser sembradas. Entre más pequeño sea el tamaño de la partícula del acarreador mejor será la adherencia a la semilla y menor la probabilidad de atasco de las sembradoras.
- b) Suspensiones: se basa en los inoculantes de polvo suspendidos en líquido (usualmente agua). La suspensión es aplicada directamente a los surcos, o alternativamente las semillas o plántulas son inmersas en una suspensión poco antes de su siembra o trasplante.
- c) Granular: Estos inoculantes se aplican directamente en los surcos junto con las semillas.

- d) Líquida: Estos inoculantes emplean caldos de cultivo o formulaciones líquidas basadas principalmente en agua, pero también en aceites minerales u orgánicos. Las semillas o las plántulas son inmersas en el inoculante (o asperjadas mediante una mochila de aspersión) antes de la siembra o trasplante.
- e) Geles: Para la elaboración de esta presentación se utilizan algunos polímeros derivados de la celulosa que facilitan su concentrado, envasado y manejo. Estos geles son disueltos posteriormente en agua para su aspersión a las plantas.

Las materias primas utilizadas en la mayoría de los acarreadores comerciales son baratas, se pueden emplear sustratos orgánicos o inorgánicos, por ejemplo turba, césped, talco, lignita, vermiculita, zeolita o alginato. Para bacterias promotoras de crecimiento comúnmente se emplean como acarreadores extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) o yuca (*Yucca schidigera*) y turba finamente molida con carbonato de calcio para neutralizar la acidez de este sustrato (Aguado-Santacruz, 2012).

4.9.2 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).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área de estudio

La investigación se realizó en invernadero en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son: latitud norte 25° 27' y longitud oeste 101° 02' a una altura de 1610 msnm.

5.2 Descripción del área de estudio

Se caracteriza por un clima semi-seco, templado durante la mayor parte del año, y su temporada de lluvias comprende las estaciones de primavera y verano principalmente y con una precipitación media anual de 400 a 500 mm.

5.3 Material biológico

En cuanto al material vegetal se utilizaron plántulas de pimiento morrón var. Lambourgini, perteneciente a la casa Enza Zaden. El cultivo de pimientos de esta variedad es adecuada para invernadero de mediana y alta tecnología, presenta frutas de tamaños XL de forma constante a través del ciclo y con tolerancia a la pudrición apical, stip y micro craking.

Tipo:	Blocky
Color:	Amarillo
Planta:	Vigorosa, recomendada para invernaderos de alta y mediana tecnología, altamente productivo.
Fruta:	Forma 4 lóbulos constantes con tamaños XL, madurez a cosecha temprana.
Resistencias:*	AR: Alta Resistencia

*Tomabovirus, *Xanthomonas campestris*, pudrición apical, stip, craking y estrés abiótico (ENZA ZADEN, 2017).

La preparación de los microorganismos benéficos inició con las endomicorrizas que se usaron en esta investigación; se emplearon dos concentraciones para inocular, una de 25 y otra de 50 esporas. Se empleó un producto comercial

(Endovit) que contiene 500 esporas en 1 gramo. Para la dosis de 25 esporas se pesó 0.05 gramos diluido en 100 ml de agua destilada y para las 50 esporas se pesaron 0.1 gramos diluidos en 100 ml de agua destilada (100 ml/planta) y se aplicó en las raíces de pimiento morrón.

Las raíces del pimiento morrón se lavaron y se cortaron en fragmentos de 1 cm y se desinfectaron con alcohol de 70° durante 1 min; después se sumergieron en hipoclorito de sodio al 2% por 2 min y se realizaron dos enjuagues sucesivos en agua estéril. Se pesó 1 g de estas raíces y se maceraron en 9 mL de solución salina estéril (0,85% de NaCl). Se empleó medio selectivo semi-sólido NFb. Las diluciones realizadas fueron seriadas, (partiendo de 1010) hasta lograr las concentraciones 10⁴ UFC ml⁻¹ y 10⁶ UFC ml⁻¹, dichas concentraciones se inocularon a la raíz de las plantas de pimiento morrón.

5.4 Descripción de tratamientos

Se evaluaron nueve tratamientos con 20 repeticiones cada uno, se usaron biofertilizantes a base de endomicorrizas (Endovit) y rizobacterias (dos concentraciones), combinado con cuatro diferentes soluciones nutritivas modificadas a partir de la solución universal de Steiner. El sustrato usado durante el desarrollo de este experimento estaba preparado a base de lombricomposta, peat moss y perlita (60:20:20).

5.5 Actividades para el establecimiento del experimento

5.5.1 Preparación del terreno

Se niveló el terreno dentro del invernadero, luego se colocó el ground cover color negro. Se rellenaron las macetas con capacidad de 10L, con las concentraciones de sustrato antes mencionadas. Posteriormente se colocó el sistema de riego localizado (espagueti). El trasplante se realizó el 10 de mayo del 2016.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón variedad Lambourgini.

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

UFC=Unidades Formadoras de Colonia, N=Nitrógeno, P=Fósforo.

5.5.2 Preparación de las soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas usadas en este estudio fueron modificadas basándonos en la universal de Steiner. Las cuatro soluciones se establecieron modificando el Nitrógeno y Fósforo.

Tabla 5. Soluciones nutritivas usadas en el cultivo de pimiento morrón variedad Lambourgini.

Tratamiento	Solución nutritiva
1	100%N - 100%P
2	50%N - 100%P
3	
4	
5	100%N - 50%P
6	50%N - 50%P
7	
8	
9	

5.6 Parámetros evaluados

La medición de las variables se realizaron en las tres etapas fenológicas: vegetativa (30 DDT), reproductiva (65 DDT) y maduración (115 DDT). Los parámetros agronómicos se listan a continuación:

- **Altura de planta:** se utilizó un flexómetro PRETUL.
- **Biomasa fresca de la planta:** el peso fresco se tomó directamente con ayuda de una balanza digital marca Torrey modelo SX-30, en el lugar de experimentación, tan pronto como fue posible; para minimizar la pérdida de peso por deshidratación de los tejidos (Reyes-Purata, *et al.*, 2009).
- **Biomasa seca de la planta:** para determinar el peso seco, una vez que se dispuso de los datos de los pesos frescos, las muestras se secaron en una estufa eléctrica YAMATHO, modelo IC-403CW a una temperatura de 75°C hasta tener un peso constante (aproximadamente 72 h) y posteriormente se volvieron a pesar (Reyes-Purata, *et al.*, 2009).
- **Diámetro de tallo:** se midió con un vernier digital marca CALIPER modelo SY-10-150-1.
- **Longitud de raíz:** la medida fue tomada con la ayuda de una cinta métrica. También se tomó medida del peso fresco y seco de ésta, para obtener el porcentaje de humedad.
- **Índice de redondez de fruto:** se midió el diámetro polar y ecuatorial del fruto con ayuda de un vernier digital marca CALIPER modelo SY-10-150-1.
- **Peso de fruto:** se determinó con una balanza digital marca RHINO modelo BAPRE-3.
- **Rendimiento:** se evaluó como producción en ton/ha/año, registrando el número de frutos/planta y el peso de fruto.

5.7 Análisis de los datos

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 ($p \leq 0.05$) con el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.0.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los análisis realizados y con la finalidad de reducirlos a un nivel de interpretación que facilite la relación de la problemática planteada con la hipótesis y los objetivos de este trabajo de investigación. A continuación se describen los resultados obtenidos de cada una de las variables estudiadas.

El efecto observado de cada tratamiento con la cepa bacteriana *Azospirillum sp* y el producto comercial ENDOVIT® (*Glomus intraradices*) es de acuerdo a sus propiedades bioquímicas y fisiológicas relacionadas con la promoción del crecimiento vegetal, por lo que su aplicación en otros cultivos de hortalizas pueden presentar efectos significativos en variables agronómicas (Hamel *et al.*, 2004).

En la tabla 6 se observa que en la variable de altura de planta el tratamiento AZ10⁶+G50 muestra un incremento del 47% en comparación al control con un resultado de 88cm de altura de planta.

El diámetro de tallo fue mayor en los tratamientos con combinación de microorganismos, sobresaliendo el tratamiento AZ10⁶+G50 con un promedio de 17.8 mm superando al testigo en un 80%, es decir, el tratamiento 9 duplicó el tamaño del tallo con la aplicación de AZ10⁶ UFC+50 esporas. Respecto al peso fresco de la planta se obtuvo un mayor valor en el tratamiento G25 con 470.7 g, esto representa un aumento en la biomasa del 57% en relación al testigo y un porcentaje de humedad del 83% (ver Tabla 6).

Tabla 6. Respuesta a las variables de: altura de planta, diámetro de tallo, peso fresco de biomasa y peso seco de biomasa en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	Altura (cm)	DT (mm)	PFrB (g)	PSB (g)
Control	59.8 c	9.9 e	266.7 c	59.9 a
AZ10 ⁴	67.8 b	11.6 de	374.0 abc	63.9 a
AZ10 ⁶	71.3 b	11.6 de	292.7 bc	56.4 a
G25	58.0 c	13.0 cd	470.7 a	74.5 a
G50	70.3 b	12.7 d	438.3 ab	56.8 a
AZ10 ⁴ +G25	68.3 b	14.7 bc	308.3 bc	54.8 a
AZ10 ⁴ +G50	73.5 b	14.8 bc	373.3 abc	62.5 a
AZ10 ⁶ +G25	73.0 b	15.9 ab	268.3 c	52.3 a
AZ10 ⁶ +G50	88.0 a	17.8 a	348.3 ab	57.2 a

DT=diámetro de tallo, PFrB=peso fresco de planta, PSB=peso seco de planta. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales Tukey ($p \leq 0.05$).

Las variables agronómicas evaluadas en esta investigación mejoran con la aplicación de biofertilizantes, el crecimiento y desarrollo de cultivos hortícolas se ve afectado de manera positiva por estos microorganismos benéficos (Castillo *et al.*, 2009). El peso seco de la planta no mostró ninguna diferencia estadística en todos los tratamientos evaluados.

En la tabla 7 se puede examinar que las plantas inoculadas con los tratamientos AZ10⁴+G50 y AZ10⁶+G50, aumentaron la longitud del sistema radicular de la planta de pimiento morrón en un 83% (62.7 cm) y 74% (60 cm) respectivamente, comparándolos con el control con un promedio de longitud de 34.3 cm, observándose de este modo diferencia estadística significativa. Díaz *et al.* (2001) indican que para aumentar la longitud y el volumen de raíz los mejores resultados se encuentran en las plantas con aplicación de biofertilizante bacteriano en el

cultivo de tomate y lechuga comparado con un testigo sin microorganismos benéficos.

Tabla 7. Respuesta a las variables de: longitud de raíz, peso fresco de raíz y peso seco de raíz en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	LonR (cm)	PFrR (g)	PSR (g)
Control	34.3 b	92.3 b	15.0 a
AZ10 ⁴	47.7 ab	99.3 ab	15.3 a
AZ10 ⁶	44.7 ab	91.0 b	14.3 a
G25	34.3 b	106.7 ab	15.3 a
G50	45.3 ab	120.0 ab	19.7 a
AZ10 ⁴ +G25	46.7 ab	148.4 a	17.0 a
AZ10 ⁴ +G50	62.7 a	116.7 ab	18.7 a
AZ10 ⁶ +G25	51.7 ab	125.0 ab	15.3 a
AZ10 ⁶ +G50	60 a	133.4 a	21.7 a

LonR=longitud de raíz, PFrR=peso fresco de raíz, PSR= peso seco de raíz. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales Tukey ($p \leq 0.05$).

Respecto al peso seco y fresco de raíz, en la tabla 7 se puede observar que no se obtuvo diferencia estadística resultados diferentes entre los tratamientos arrojando en promedio un 81% de humedad. Las plantas inoculadas con *Azospirillum sp* y *Glomus intraradices* estimulan el crecimiento y desarrollo del sistema radicular de las plantas presentando una mayor capacidad de absorber agua y nutrientes del suelo a través la raíz (Hernández *et al.*, 2008).

La calidad del fruto en la variable de peso, muestra que el tratamiento con combinación de 10⁶ UFC ml⁻¹ con 50 esporas registró un peso promedio de 324g (9.42 Kg/m²) aumentando un 70% el peso del fruto con relación al control (tabla

8), similar a los resultados obtenidos en un ensayo por Martínez *et al.* (2006) con una producción total de pimiento de 10.25 kg/m².

Tabla 8. Respuesta a las variables de: peso fresco de fruto, peso seco de fruto, diámetro polar y ecuatorial de fruto y rendimiento en el cultivo de pimiento morrón con aplicación de biofertilizantes.

Tratamiento	PFFr (g)	PSFr (g)	DE (cm)	DP (cm)	Rendimiento (ton/ha/año)
Control	186.6 c	10.2 b	7.7 e	7.4 a	108.6 e
AZ10 ⁴	227.8 bc	13.7 ab	8.4 de	7.4 a	132.5 d
AZ10 ⁶	250.5 abc	16.8 a	8.6 cde	7.5 a	145.7 bcd
G25	242.3 bc	16.3 a	8.9 cd	7.3 a	140.8 cd
G50	243.3 bc	11.7 ab	9.4 bc	6.6 a	141.6 cd
AZ10 ⁴ +G25	269.0 ab	12.8 ab	9.5 bc	6.9 a	155.6 bc
AZ10 ⁴ +G50	277.5 ab	13.5 ab	9.4 bcd	7.4 a	161.5 b
AZ10 ⁶ +G25	246.5 abc	12.1 ab	9.6 ab	6.5 a	143.4 cd
AZ10 ⁶ +G50	324.0 a	13.2 ab	10.3 a	7.8 a	188.5 a

PFFr= peso fresco de fruto, PSFr= peso seco de fruto, DE= diámetro ecuatorial, DP= diámetro polar. Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales Tukey ($p \leq 0.05$).

En la variable de peso seco, se observa que todos los tratamientos se comportaron similares, es decir, no existió diferencia estadística entre tratamientos. En cuanto al tamaño del fruto, los resultados del diámetro ecuatorial mostraron que los tratamientos con combinación de bacterias y hongos promueven el desarrollo de esta variable por ello los frutos de los tratamientos AZ10⁶+G25 y AZ10⁶+G50 superaron al testigo aumentando esta variable 25% y 34% respectivamente, sin embargo, diámetro polar no mostró ninguna diferencia estadística entre todos los tratamientos evaluados. El rendimiento del cultivo, con forme a los datos obtenidos en el peso de fruto, se muestra que existe relación

en cuanto al peso de fruto y el rendimiento, por ello el mejor resultado en esta variable fue el tratamiento AZ10⁶+G50, con un rendimiento de 188.5 ton/ha/año. El uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal y los hongos micorrízicos arbusculares utilizados como biofertilizantes brinda beneficios en la calidad y producción en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) ya que estimulan el crecimiento de las plantas, también contribuyen al estado nutricional de las mismas, generando incrementos en el rendimiento (Díaz-Vargas *et al.*, 2001).

VII. CONCLUSIÓN

La combinación de hongos y bacterias benéficos, promueven el crecimiento del cultivo de chile morrón en comparación al control establecido en esta investigación, el cual constó de fertilización química sin ninguna clase de inoculación.

El uso de HMA y BPCV en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta lo que se ve reflejado en mayor masa fresca y crecimiento de la planta.

El uso de biofertilizantes en el tratamiento con combinación de microorganismos benéficos en una concentración de 10⁶ UFC + 50 esporas en el cultivo de pimiento morrón mejoró las características agronómicas de altura de planta, diámetro de tallo y peso de fruto.

La aplicación de biofertilizantes incrementa el rendimiento del cultivo de pimiento morrón, bajo las condiciones de invernadero de mediana tecnología.

Los beneficios se presentaron desde la fase de semillero y se mantuvieron hasta la cosecha.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Abu-Zahra T. 2012. Vegetative, flowering and yield of sweet pepper as influenced by agricultural practices. Middle-East Journal of Scientific Research. 11:1220-1225.
- Aguado-Santacruz G. A. 2012. 2012. Título del capítulo. In: Aguado-Santacruz, G.A. (ed). Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. INIFAP/SAGARPA. Impreso en Celaya, Guanajuato, México. ISBN 978-607-425-807-3. pp 23-79. Available from: https://www.researchgate.net/publication/311424135_Introduccion_al_Uso_y_Manejo_de_los_Biofertilizantes_en_la_Agricultura [accessed Feb 02 2018].
- ASBA. American Society of Botanical Artists. 2016. [Último acceso: mar-2016] <https://www.asba-art.org/member-gallery/halina-steele>
- Barazani O.; Friedman J. 1999. Is IAA the major root growth factor secreted from plant-growth-mediating bacteria. Journal Chemical Ecology. 25: pp 2397-2406.
- Bashan, Y. 2008. El uso de inoculantes microbianos como una importante contribución al futuro de la agricultura mexicana. In: Díaz-Franco, A. y Meyek-Pérez, N. (Eds.). La biofertilización como tecnología sostenible. Plaza y Valdéz. México. 17-24 pp.
- Bashan, Y., Holguin, G., and de-Bashan, L. E. 2004. *Azospirillum*-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997–2003). Can. J. Microbiol. 50, 521–577.
- Bashan, Y., y Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: Biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. Soil Biology and Biochemistry, 30(8), 1225-1228.

- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnol. Adv.* 16:729-770.
- Caballero, J. (2009). Artículo en página web. Uso de biofertilizantes en la agricultura nacional. Disponible en: <http://www.invdes.com.mx/suplemento-noticias/416-uso-debiofertilizantes-en-la-agricultura-nacional> [Último acceso: marzo 2016].
- 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.
- Cuenca Gisela. 2007. Las micorrizas arbusculares como una alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, vol.32, no.1, p.23-29.
- Díaz-Vargas, P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J.J., G. Alcántar-González. 2001. Inoculación de bacterias promotoras del crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamérica*. 19 (4): 327-335.
- Dibut-Alvarez, B., 2006. Biofertilizantes como Insumos en agricultura sostenible, La Habana, Cuba: INIFAT.
- ENZA ZADEN. 2017. Disponible en línea: <http://www.enzazaden.com.mx/> [Último acceso diciembre 2017].
- Fages, J. 1992. An industrial view of *Azospirillum* inoculants: formulation and application technology. *Symbiosis* 13:15-26.
- FAO. 2012. FAOSTAT. En línea: faostat.fao.org/site/339/default.aspx [Último acceso agosto 2017].
- FAO. 2014. [Último acceso enero 2018] hortoinfo.es/index.php/2687-prod-mund-pim-261216

- FAO. 2002. Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas. Dirección de Producción y Protección Vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, 2002. ISBN 92-5-302719-3. pag 202-214. Disponible en línea: fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s08.htm [último acceso agosto 2017].
- Flores y plantas, 2011. Requerimientos edafoclimáticos del Pimiento. *Flores y Plantas.net*.
- Gómez Cruz M., Schwentesius Rindermann, R., Ortigoza Rufino, J. y Gómez Tovar, L. 2010. Situación y desafíos del sector orgánico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Octubre-Diciembre. pp.593-608.
- González-Chávez M. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *TERRA Latinoamericana*, 23(1): 29-37.
- Hamel C, C Landry, A Elmi, A Liu, T Spedding. 2004. Nutrient dynamics: utilizing biotic-abiotic interactions for improved management of agricultural soils. In: *New Dimensions in Agroecology*. D Clements, A Shresstha (eds). The Haworth Press. New York, USA. pp: 209-248.
- Harman G. E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*. 96:190-194.
- Hernández-Fuentes A., Campos M. R., Pinedo J. M. 2010. Comportamiento Poscosecha de Pimiento Morrón (*Capsicum annum* L.) var. California por Efecto de la Fertilización Química y Aplicación de *Lombrihumus*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 11, núm. 1, 2010, pp. 82-91. Hermosillo, México.
- Hernández Y., Sarmiento M., García O. 2008. Influence of *Azospirillum* inoculation model on grass performance. *Cuban Journal of agricultural*

Science. 30: pp 219-226.

InfoAgro. 2010. <http://www.infoagro.com/hortalizas/pimiento2.htm> [Último acceso feb-2016]

Lugtenberg, B. and Kamilova, F. 2009. Plant-Growth-Promoting rhizobacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 63. pp.541-556.

Márquez, C., Cano, P., Chew, Y., Moreno, A. y Rodríguez, N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, Volumen 12, pp. 183-188.

Martínez A., Ramos R., Guerrero L., Zamora L. M., Gázquez J. C., Meca D. E., Navarro I., Acedo J. 2006. Cultivo de pimiento ecológico en invernadero: producción y manejo. VII Congreso SEAE, Zaragoza.

Medina, J. F. A., Garza, M. B. I., Prado, A. D., Cabrera, O. A. G., Osti, C. L., & Baeza, Á. G. 2009. Los Biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. INIFAP. Folleto Técnico (5). Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 86.

Morales Ibarra, M. 2009. Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable, s.l.: Procuraduría Agraria.

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: pp 5-18.

Moreno-Gómez, B. 2012. La rizósfera y las relaciones entre las plantas y los microorganismos. En G.A. Aguado-Santacruz (ed.) Introducción al uso y manejo de biofertilizantes en la agricultura (pp. 35-78). México: INIFAP/SAGRAPA.

- Mundarain S.; Coa M.; Cañizares A. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de ají dulce (*Capsicum frutescens* L.). Revista UDO Agrícola. 5: pp 62-67.
- Nuez, F. Gil Ortega, R. Costa, J. 2006. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa Madrid-España. 586 p.
- Núñez, F., Gil Ortega R. y Costa J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Madrid, España: Artes Gráficas Cuesta, S. A.
- Pandey, A., Sharma, E., y Palni, L. M. S. 1998. Influence of bacterial inoculation on maize in upland farming systems of the Sikkim Himalaya. Soil Biology and Biochemistry, 30(3), 379-384.
- Peterson, R; Massicotte, H; Melvilla, L. 2004. Mycorrhizas: Anatomy and cell biology. Ottawa, CAN. NRC, Research Press. 173 p.
- 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.) for agings and farming: the evolution on plant explotation. Unwin Hyman, London": 426-439.
- Quilambo Orlando. 2003. The vesicular-arbuscular mycorrhizal simbiosis. African Journal Biotechnology, 2(12): 539-546.
- 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.
- Reis, J. F. D., Silva, L. D., Reis, V. M., y Döbereiner, J. 2000. Occurrence of diazotrophic bacteria in different sugar cane genotypes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35(5), 985-994.

- Requena, Natalia. 2007. Plant signals and fungal perceptions during arbuscular mycorrhizal establishment. *Phytochemistry*, 68: 33-40.
- Reyes, I., Alvarez, L., El-Ayoubi, H., y Valery, A. 2008. Selección y evaluación de Rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*, 20(1), 37-48.
- Reyes-Purata, A., Bolaños-Aguilar, ED., Hernández-Sánchez, D., Aranda-Ibañez, EM. e Izquierdo-Reyes, F., 2009. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y ciencia*, 25(3), pp. 213-224.
- SAGARPA. 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en línea: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/produccion-del-chile-mexicano> [Último acceso enero 2018].
- SAGARPA. 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en línea: <https://www.agrosintesis.com/se-impulsa-el-uso-de-biofertilizantes-en-mexico/> [Último acceso enero 2018].
- SAGARPA. 2017. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en línea: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/nayarit/boletines/Paginas/BN_SAGENE052017.aspx [Último acceso enero 2018].
- SENASICA. 2014. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Ventajas y desventajas de la producción orgánica. Disponible en línea: <http://www.mexicocalidadsuprema.org/archivos/senasica.pdf> [Último acceso febrero 2018]. pp 1-15.

- 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.
- Sessitsch A, Howieson J., Perret X., Antoun H., Martínez-Romero E. 2002. Advances in Rhizobium Research. Critical Reviews in Plant Sciences. 21:323-378.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Un Panorama del Cultivo del Chile. Disponible en línea: siap.gob.mx/images/stories/infogramas/100705-monografia-chile.pdf [Último acceso enero 2018].
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en línea: <https://www.berger.ca/es/estado-actual-la-agricultura-protegida-mexico/> [Último acceso enero 2018].
- Sylvia, D.M. 1999. Mycorrhizal symbioses. pp. 408-426. In: D.M. Sylvia, J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel y D.A. Zuberer (eds.). Principles and applications of soil microbiology. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Tamaro D. 1974. Manual de Horticultura. Séptima edición. Editorial Gustavo Gill. Barcelona, España.
- Tarrand, J. J., Krieg, N. R., y Döbereiner, J. (1978). A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. Canadian Journal of Microbiology, 24(8), 967-980.
- Teepe, R. 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils.. : Soil Science Society of American Journal.

- Tortora, G. J., Funke, B. R., y Case, C. L. 2007. Introducción a la Microbiología. Ed. Médica Panamericana. pp: 1-881.
- TRADE MAP. (Trade Statistics for international business development). 2010. <http://www.tradema.org/>
- Trevors, J.T., Van Elsas, J.D., Lee, H. and Van Overbeek, L.S. 1992. Use of alginate and other carriers for encapsulation of microbial cells for use in soil. *Microb. Releases*. pp 61-69.
- USDA. United States Department of Agriculture. 2011. Hojas Informativas de los alimentos. Disponible en línea: <https://whatscooking.fns.usda.gov/es/hojas-informativas-de-los-alimentos-y-material-de-familias> [Último acceso enero 2018].
- Velazco, A., Castro, R., y Nápoles, M. C. 1999. *Azospirillum* sp., diazótrofo predominante en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.) en la provincia de Pinar del Río. *Cultivos Tropicales Cuba*. 20(3), pp 5-9.
- Vessey J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255: pp 571–586.
- Vierheilig, Horst. 2004. Regulatory mechanisms during the plant - arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian Journal of Botany*, 82: pp 1166-1176.
- Willer, H. and Yussefi, M. (2001). *Organic Agriculture Worldwide. Statistics and Future Prospect*. Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL). pp 134.
- Woodard, H. J., y Bly, A. 2000. Maize growth and yield responses to seed-inoculated N₂-fixing bacteria under Dryland production conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 23(1), pp 55-65.