

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN DE *Glomus intraradices* Y *Azospirillum sp.* EN CARACTERES
AGRONÓMICOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE CHILE MORRÓN
(*Capsicum annuum* L.) EN INVERNADERO

Tesis

Que presenta ENEIDA ADILENE PÉREZ VELASCO

como requisito parcial para obtener el Grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2017

EVALUACIÓN DE *Glomus intraradices* y *Azospirillum sp.* EN CARACTERES
AGRONÓMICOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE CHILE MORRÓN
(*Capsicum annuum L.*) EN INVERNADERO

Tesis

Elaborada por ENEIDA ADILENE PÉREZ VELASCO como requisito parcia para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Asesor principal



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Asesor



Dr. Marcelino Cabrera de La Fuente

Asesor



Dr. Valentín Robledo Torres

Asesor



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar

Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado UAAAN

Agradecimientos

Expreso un profundo agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

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

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**).

A mis profesores gracias por sus enseñanzas y tiempo, en especial a:

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

Dr. Alberto Sandoval Rangel por su apoyo, consejos, asesoría y sobre todo por la confianza y amistad durante la investigación.

Dr. Marcelino Cabrera de La Fuente gracias por la asesoría prestada durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

Dr. Valentín Robledo Torres por el apoyo y consejos brindados con respecto a su experiencia.

Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar con gran admiración, gracias por el apoyo que me brindó durante la realización de este proyecto.

A mi amiga Danny Alvarado gracias por tu amistad sincera, eres un ejemplo de que si quieres algo lo puedes alcanzar por méritos propios a pesar de los obstáculos que las personas te ponen en el camino.

Dedicatoria

A Dios, por darme la vida y permitirme cumplir uno de mis grandes sueños y colocar en mi camino a las personas y las herramientas para lograrlo, pero sobre todo Señor te agradezco por permitirme ser parte de la familia que me diste.

A mis padres:

Javier Pérez Gómez y Flor Velasco Méndez

Les dedico este trabajo que simboliza la culminación de una etapa importante de mi vida y el inicio de una nueva, a pesar de nuestra distancia física, siento que están conmigo siempre y aunque nos faltan muchas cosas por vivir, sé que este momento hubiera sido tan especial para ustedes como lo es para mí. Por ser los incansables formadores de mi persona a lo largo de toda mi vida dándome su ejemplo y humildad que siempre los ha caracterizado, por todos aquellos sacrificios de parte suya, desvelos y preocupaciones que pasaron pensando en mí, para lograr que uno de mis sueños se hiciera realidad, porque siempre están ahí, a mi lado pase lo que pase, por la más grande herencia que me han dado les estaré eternamente agradecida, con cariño, amor y respeto a quienes para mí son los mejores padres del mundo.

A mis hermanos:

Francisco Javier, Selene del Rocío y Conny

Gracias por todo su apoyo incondicional, por los momentos felices y tristes que pasamos juntos, por los obstáculos que siempre se nos presentaron como familia pero siempre con la mirada hacia enfrente, luchando como nuestra madre nos enseñó y nunca darnos por vencidos. Los amo.

A mi novio Emilio Castro Ramírez porque sin tu apoyo no habría logrado este grado, gracias por tu amor, paciencia y apoyo.

Índice General

Agradecimientos	iii
Dedicatoria	iv
Resumen	ix
Abstract	xi
INTRODUCCIÓN	1
Hipótesis.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
REVISION DE LITERATURA	5
Origen.....	5
Importancia del cultivo de pimiento morrón.....	5
Interés mundial.....	5
Interés nacional.....	5
Botánica del pimiento morrón.....	6
Taxonomía.....	6
Fenología del cultivo de pimiento morrón.....	7
Calidad del pimiento morrón.....	7
Fertilizantes.....	9
Fertilizantes químicos.....	9
Biofertilizantes.....	9
Inoculantes bacterianos.....	10
Inoculantes micorrízicos.....	10
MATERIALES Y MÉTODOS	12
Ubicación del experimento.....	12
Preparación del experimento.....	12
Medición de las variables agronómicas y nutraceuticas.....	13
Estimación de micorrización y cuantificación de UFC.....	14
Determinación del contenido mineral en fruto de pimiento morrón.....	14

RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 16
CONCLUSIONES..... 28
REFERENCIAS..... 29

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Principales países productores de pimiento morrón en el mundo.	5
Cuadro 2. Clasificación taxonómica del pimiento (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	7
Cuadro 3. Composición nutrimental del pimiento.....	8
Cuadro 4. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini.....	13
Cuadro 5. Efecto de los inoculantes microbianos para variables agronómicas y rendimiento en cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento junio-noviembre 2015).....	17
Cuadro 6. Efecto de los inoculantes microbianos para variables agronómicas y rendimiento en cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento junio-noviembre 2016).....	18
Cuadro 7. Efecto de los inoculantes microbianos sobre las variables de calidad nutracéutica del pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento junio-noviembre 2015).....	20
Cuadro 8. Efecto de los inoculantes microbianos sobre las variables de calidad nutracéutica del pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento junio-noviembre 2016).....	22
Cuadro 9. Cuantificación de Unidades Formadoras de Colonias (ml-1) y Porcentaje de Micorrización en raíces de pimiento morrón var. Lambourgini.....	23
Cuadro 10. Efecto de los inoculantes microbianos sobre el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento).....	24
Cuadro 11. Efecto de los inoculantes microbianos sobre el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento).....	26

Lista de Figuras

Figura 1. Cultivos de mayor importancia en condiciones de Agricultura Protegida.	6
Figura 2. Fenología del cultivo de <i>Capsicum annuum</i> L.....	7
Figura 3. Relación entre índice de acidez (y) y pH (x) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento).....	21
Figura 4. Relación entre el contenido de N en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento).....	24
Figura 5. Relación entre el contenido de P en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento).....	25
Figura 6. Relación entre el contenido de N en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento).....	26
Figura 7. Relación entre el contenido de P en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento).....	27

Resumen

EVALUACIÓN DE *Glomus intraradices* y *Azospirillum sp.* EN CARACTERES
AGRONÓMICOS Y CALIDAD NUTRACÉUTICA DE CHILE MORRÓN
(*Capsicum annuum* L.) EN INVERNADERO

POR

ENEIDA ADILENE PÉREZ VELASCO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL-ASESOR-

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2017

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de *Azospirillum* sp. y *Glomus* intraradices en el cultivo de Pimiento de color amarillo combinado con sustrato a base de lombricomposta, peat moss y perlita (60:20:20). El Diseño experimental fue bloques completamente al azar con 9 tratamientos y 20 repeticiones. Se usaron soluciones Steiner modificadas (100%N-50%P, 50%N-100%P y 50%N-50%P) junto con dos concentraciones de bacterias (10^4 y 10^6 UFC ml⁻¹) y endomicorrizas (25 y 50 esporas) además de un testigo con solución completa de Steiner. Las variables altura de planta, diámetro de tallo, diámetro ecuatorial y polar de fruto, peso de fruto y rendimientos mostraron mejores resultados usando combinación de bacterias y hongos. La calidad nutracéutica (vitamina C, SST e índice de acidez) se mejoró con la inoculación de 50 esporas y 106 UFC ml⁻¹. En carotenoides los mejores resultados se obtuvieron con 104 y 106 UFC ml⁻¹ combinado con 50 esporas. Los minerales N y P aumentaron con el uso de los inoculantes en una dosis de 106 UFC ml⁻¹ combinado con 50 esporas y una solución nutritiva de 50%N-50%P.

Palabras clave: inoculante microbiano, biofertilizante, lombricomposta, minerales.

Abstract

EVALUATION OF *Glomus intraradices* AND *Azospirillum sp.* IN AGRONOMIC TRAITS AND NUTRACEUTICAL QUALITY OF BELL PEPPER (*Capsicum annuum* L.) IN GREENHOUSE

BY

ENEIDA ADILENE PÉREZ VELASCO

MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL.-ADVISOR-

Saltillo, Coahuila, México

June 2017

The aim of this study was to determine the effect of *Azospirillum sp.* and *Glomus intraradices* in the growth of bell pepper plants cultivated in a substrate containing a mixture of vermicompost, peat moss and perlite (60:20:20). The experimental design was a randomized complete block design with nine treatments and 20 replications. Modified Steiner solutions (100% N-50% P, 50% N-100% P and 50% N-50% P) were used along with two concentrations of bacteria (10^4 and 10^6 CFU ml⁻¹) and endomycorrhizae (25 and 50 spores,); the control solutions was the complete solution of Steiner. Plant height, stem diameter, equatorial and polar diameter of fruit, fruit weight and yields were higher when bacteria and fungi was inoculated. Nutraceutical properties (vitamin C, TSS and acidity) were improved by inoculation with 50 and 10^6 UFC spores ml L⁻¹. The content of carotenoids were higher when plants were inoculated with 10^4 and 10^6 CFU ml⁻¹ combined with 50 spores. The concentration N and P increased with the use of the inoculants in a dose of 10^6 CFU ml⁻¹ combined with 50 spores and a nutrient solution of 50% N-50% P.

Key words: microbial inoculant, biofertilizer, vermicompost, minerals.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso inadecuado de los recursos naturales, utilización desmedida de agroquímicos y las malas prácticas agrícolas son factores que han ocasionado el deterioro ecológico. Por ello se buscan nuevas alternativas de producción agrícola que disminuyan el uso excesivo de fertilizantes químicos y de este modo dirigirse a una agricultura sostenible (Pretty, 2008). Entre estas alternativas se encuentran los abonos orgánicos y la inoculación de hongos micorrízicos y microorganismos fijadores de nitrógeno (biofertilizantes). Los biofertilizantes son productos elaborados a base de microorganismos benéficos que son aplicados para proporcionar elementos que la planta necesita para su desarrollo.

Los biofertilizantes no contaminan ni degradan el suelo a diferencia de los fertilizantes químicos, todo lo contrario, los microorganismos contenidos en los biofertilizantes recuperan la población microbiana además de ofrecer a la raíz protección contra patógenos (Morales-Ibarra, 2009).

Lucy y colaboradores (2004) mencionan que los microorganismos que se usan comúnmente en los biofertilizantes se catalogan en dos grupos: en el primer grupo se encuentran los microorganismos que poseen la capacidad de fijar N atmosférico, solubilizar P y aumentar la capacidad de soportar estrés hídrico; en la segunda categoría están los microorganismos capaces de impedir o disminuir los efectos causados por microorganismos patógenos.

La interacción que existe entre los miembros de una comunidad microbiana puede expresarse de maneras diferentes, por ello en los últimos años se han realizado investigaciones para entender los sinergismos entre las asociaciones microbianas del suelo. La interacción entre rizobacterias y hongos micorrízicos es selectiva, y esto depende del hongo o bacteria implicados. La relación del espacio entre las hifas de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las bacterias es una temática de controversia, aunque se conoce que los agregados generados por las hifas de las HMA presentan una elevada actividad microbiana (Azcón, 2000). Producir biofertilizantes mediante el uso de

bacterias es, en la actualidad, una opción viable (Caballero-Mellado, 2006); ya que *Azospirillum sp.* presenta una forma de vida libre además de producir fitohormonas. Dentro de este género, las especies más estudiadas son *A. lipoferum* y *A. brasilense*, que además de estimular el crecimiento de las plantas también influye en el aumento del rendimiento de los cultivos (García-Olivares *et al.*, 2012).

De Bashan (2007) menciona que el género *Azospirillum* mejora el crecimiento vegetal porque existe liberación de auxinas, giberelinas y citocininas, estas a su vez estimulan para que *Azospirillum* fije el N. Los resultados de investigaciones que se han realizado usando *A. brasilense* muestran que aumenta un 35% el rendimiento de grano en el cultivo de maíz a diferencia de plantas no inoculadas (García-Olivares *et al.*, 2012). La inoculación de *Azospirillum* en el cultivo de sorgo aumentó el rendimiento en un 21% con respecto al control sin inocular (Hernández *et al.*, 1994). En caña de azúcar se demostró que el uso de rizobacterias incrementó el rendimiento en un 12% (Velazco *et al.*, 2000). El tomate es otro de los cultivos en el cual el uso de *Azospirillum* ha mostrado buenos resultados en altura de planta, área foliar y rendimiento (Terry, 1998).

En cultivos como el tomate, la inoculación de HMA muestra excelentes resultados aumentando el tamaño del fruto y por ende permite un aumento en el rendimiento del cultivo (Oseni *et al.*, 2010). El uso de endomicorrizas en el cultivo de chile provoca plantas de mayor altura y área foliar así como precocidad en la cosecha, además el peso fresco aumenta 177% en relación al control (Castillo *et al.*, 2009). Lo mismo sucedió con el cultivo de banano cuando se inocularon con HMA en Colombia (Usuaga *et al.*, 2008).

Los HMA son de gran interés e importancia debido a que en los estudios que se han realizado, en cultivos tratados con HMA muestran mejor absorción de minerales y agua del suelo, aumentan la tolerancia al estrés biótico y abiótico y además protegen a las raíces contra patógenos (Finlay, 2008). También influyen en la mejora de características fisicoquímicas y reduce la erosión del suelo, esto debido a que producen glomalina, una sustancia que estabiliza los

agregados del suelo) (Finlay, 2008). Igualmente intervienen de modo directo o indirecto en la absorción de minerales como el calcio (Ca), potasio (K), hierro (Fe) y magnesio (Mg) (Koltai y Kapulnik, 2010). Desde un punto de vista nutricional, el crecimiento de la planta causado por el incremento en la absorción del P es el principal beneficio que aporta el uso de HMA (Requena *et al.*, 2007).

En cultivos como el tomate, la inoculación de HMA muestra excelentes resultados aumentando el tamaño del fruto y por ende permite un aumento en el rendimiento del cultivo (Oseni *et al.*, 2010). El uso de endomicorrizas en el cultivo de chile provoca plantas de mayor altura y área foliar así como precocidad en la cosecha, además el peso fresco aumenta 177% en relación al control (Castillo *et al.*, 2009). Lo mismo sucedió con el cultivo de banano cuando se inocularon con HMA en Colombia (Usuaga *et al.*, 2008).

En pimiento (*Capsicum annuum*) una de las principales características de calidad es el sabor del fruto, el cual está determinado por los sólidos solubles totales (°Brix) (Urrestarazu *et al.*, 2002), posee un elevado valor nutritivo, principalmente por la presencia de fibra, antioxidantes y minerales, convirtiéndola en la hortaliza con mayor contenido de vitamina C (Kothari *et al.*, 2010). Sin embargo, no existe información sobre el efecto de la aplicación de HMA así como de bacterias benéficas sobre los SST y otros parámetros de calidad nutracéutica en pimiento, por lo cual el presente estudio se planteó con el objetivo de determinar el efecto de la inoculación con *Glomus intraradices* (HMA) y *Azospirillum sp.* (bacteria benéfica fijadora de N) en el crecimiento, rendimiento y calidad nutracéutica de pimiento morrón cultivado en un sistema sin suelo, así como determinar si la aplicación sola o combinada de estos organismos podría sustituir parcialmente la fertilización química convencional.

En vista de la problemática del deterioro ambiental y la demanda de alimentos libres de productos químicos, se planteó la siguiente hipótesis:

Hipótesis

Los HMA, *Azospirillum sp*, o la mezcla de ellos promueve la calidad, el desarrollo y rendimiento del cultivo de pimiento morrón.

Objetivo general

Analizar el comportamiento del crecimiento del pimiento morrón en respuesta a la aplicación de diferentes concentraciones de Micorrizas y *Azospirillum sp*.

Objetivos específicos

- Medir el porcentaje de micorrización en las raíces de la planta de pimiento.
- Determinar el contenido de minerales en frutos de pimiento morrón (N, P).
- Determinar el rendimiento y características nutracéuticas del pimiento morrón.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen

Capsicum annuum tiene su origen en América del Sur, principalmente en Bolivia y Perú, al igual que el tomate, los pimientos pertenecen a la familia botánica de las solanáceas. El cultivo fue introducido a Europa allá por el año 1493 durante el viaje de los colonizadores (Namesny, 1996). Este fruto se caracteriza por la poca o nula presencia de capsaicina, por poseer una carne dulce y gruesa, son frutos huecos que se diferencian por su color y tamaño: verde, amarillo y rojo.

Importancia del cultivo de pimiento morrón

Interés mundial

El cultivo del pimiento morrón ocupa el tercer lugar en la lista de hortalizas de mayor importancia en el mundo, el tomate y la papa se localizan en el primer y segundo lugar respectivamente (Cuadro1). Los principales países productores de pimiento son: China, México, Turquía, Indonesia y España (FAO, 2013).

Cuadro 1. Principales países productores de pimiento morrón en el mundo.

País	Producción (Ton)
China	15,023,503
México	2,335,560
Turquía	1,986,700
Indonesia	1,986,700
España	1,011,700
EE.UU	926,680
Países Bajos	370,000

FAOSTAT, 2013.

Interés Nacional

Los productores de pimiento en México se localizan en zonas desérticas al norte del país, la escasez de agua ha causado la producción en invernadero. La

agricultura protegida ha tomado mucha importancia en los estados productores ya que genera, en promedio, 8 empleos por hectárea, se logra un incremento de hasta 5 veces la producción en comparación a campo abierto, hay producción todo el año, se reduce el gasto de agua en un 50%.

En México existen 20 mil hectáreas bajo condiciones de agricultura protegida, 12 mil hectáreas son invernaderos, el resto corresponden a macrotúneles y malla sombra. Los cultivos principales que se producen en condiciones de agricultura protegida son: jitomate, pimiento morrón, pepino (Figura 1).

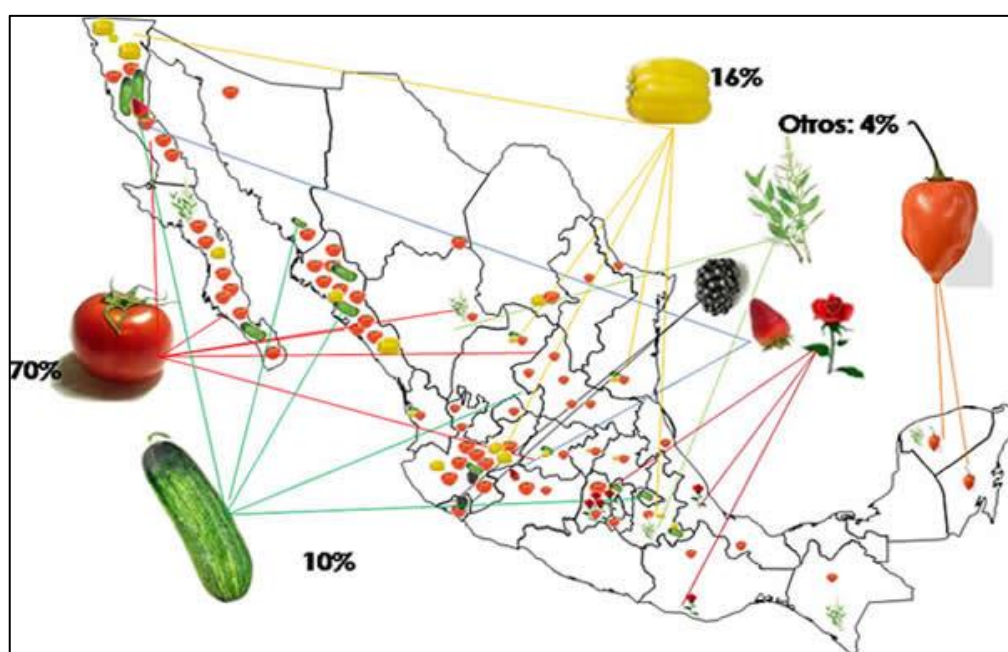


Figura 1. Cultivos de mayor importancia en condiciones de Agricultura Protegida. (SAGARPA, 2012.)

Botánica del pimiento morrón

Taxonomía

El pimiento pertenece al género *Capsicum* (Cuadro 2) de la familia de las Solanáceas, dentro de este género existen pimientos dulces hasta picosos como el pimiento habanero (Serrano, 2009).

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del pimiento (*Capsicum annum* L)

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>annuum</i>

Fuente: Carlos Linneo, 1753.

Fenología del cultivo de pimiento morrón

Según Zoilo Serrano (2011) el ciclo del cultivo de pimiento en condiciones de invernadero tiene una duración promedio de 2.5 a 3 meses. Las etapas por las que atraviesa el cultivo se ilustran en la Figura 2.

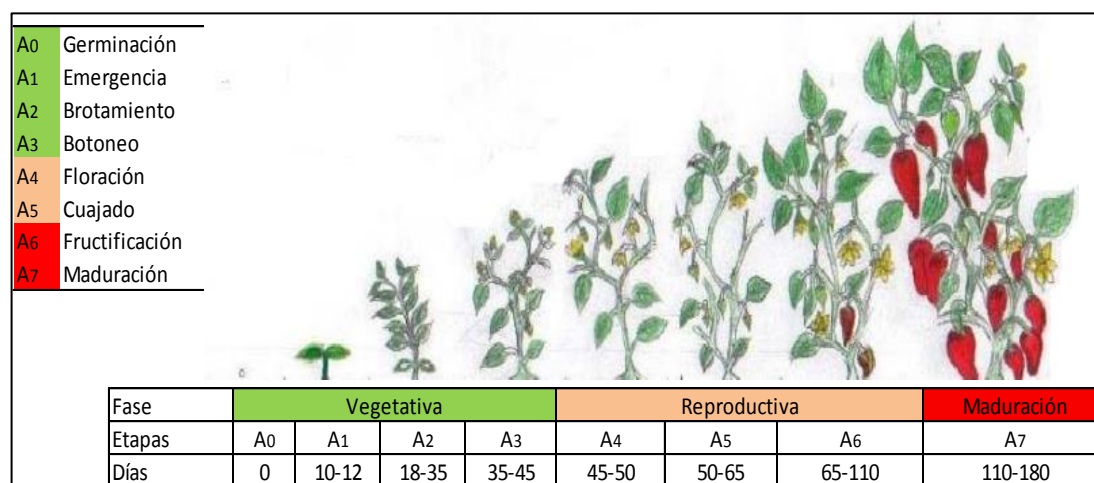


Figura 2. Fenología del cultivo de *Capsicum annum* L. (Zoilo, 2011).

Calidad del pimiento morrón

Sabemos que el concepto de calidad no sólo contempla la resistencia a factores bióticos y abióticos, otros parámetros intervienen, como el sabor, aroma, color. El concepto de calidad es muy complejo, pero de forma sencilla diremos que es el conjunto de características organolépticas y nutracéuticas que hace especial

un producto, características que hacen que un fruto sea demandado por los consumidores.

Actualmente dichos consumidores están interesados en el origen del producto, desde saber cómo fueron cultivados así como el contenido nutricional enfatizando la preocupación por contaminación de agroquímicos (Winter y Sarah, 2006). El pimiento es poseedor de un gran valor nutritivo (Cuadro 3) porque es fuente de vitamina C y A, minerales y antioxidantes como los carotenos (Universidad San Francisco de Quito, 2011).

Cuadro 3. Composición nutrimental del pimiento

Compuesto	Cantidad*
Agua	92.02g
Proteínas	1g
Lípidos	0.21g
Hidratos de Carbono	6.32 g
Fibra	0.9 g
Calcio	11mg
Hierro	0.46mg
Magnesio	12mg
Fósforo	24mg
Potasio	212mg
Sodio	2mg
Zinc	0.17mg
Cobre	0.107mg
Manganeso	0.117mg
Vitamina C	183.5 mg
Carotenos	120 µg

*Composición por 100g. (USDA, 2011)

Fertilizantes

Fertilizantes químicos

La historia cuenta que la producción agrícola se realizaba sin usar productos minerales, sin embargo, en la década de los 40's se comenzaron a utilizar los fertilizantes químicos trayendo como resultado un incremento en el rendimiento y calidad de los cultivos contribuyendo de este modo un aumento en la producción mundial de alimentos (Pelletier *et al.*, 2011).

Con el paso de los años el uso de fertilizantes químicos aumentó, no sólo en nuestro país sino en todo el mundo, el uso ineficiente de estos productos, labranzas continuas y pesticidas han ocasionado el deterioro de la estructura y textura del suelo, todos los productos químicos usados para la producción agrícola son fuentes potenciales del deterioro ambiental (Crewsa y Peoples, 2004). Para lograr optimizar los insumos químicos, que causan daño no solo al ambiente sino a la salud humana, existen posibilidades tecnológicas como la aplicación de estiércoles, compostas, vermicompostas y utilización de microorganismos que tienen la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas y reducir el uso de fertilizantes sintéticos.

Biofertilizantes

En la actualidad los microorganismos benéficos han tomado mucho interés para la formulación de agregados a base de estos, tal es la importancia que han tomado que se comercializan en productos conocidos como biofertilizantes. Los biofertilizantes son una nueva alternativa para reducir el uso de químicos en la agricultura, sabemos bien que los consumidores de nuestros tiempos demandan productos con poca o nula presencia de productos sintéticos que repercuten en la salud humana causando males cancerígenos. El interés hacia estos microorganismos es debido a su actividad en las propiedades del suelo y de la planta misma.

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y la rizobacteria promotora de crecimiento vegetal (RPCV) del género *Azospirillum*, son de los

microorganismos benéficos más estudiados (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Su uso en regiones semiáridas es de particular importancia para soportar los efectos del estrés hídrico en los cultivos (Sánchez de la Cruz *et al.*, 2008)

Inoculantes bacterianos

El efecto que puedan causar las bacterias varía en función de la planta misma y el ambiente, estos factores influirán en la expresión patogénica o benéfica de la población bacteriana. Las investigaciones realizadas con bacterias benéficas se ha desarrollado de forma gradual y ascendente, teniendo como finalidad incrementar el rendimiento de los cultivos, disminuir el uso de fertilizantes minerales y productos químicos y, así, reducir la contaminación ambiental. La utilización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura es una alternativa que ha tomado mucha importancia en las últimas décadas (Hernández, 1998). Dentro de las bacterias asociativas más estudiadas, se encuentran las pertenecientes al género *Azospirillum*, el cual ha sido objeto de estudio desde la década del setenta, pues su inoculación en las plantas conlleva a un aumento significativo del sistema radical, además de inducir resistencia a agentes patógenos y proveer de elementos tan necesarios como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivos (García-Olivares *et al.*, 2012).

Inoculantes micorrízicos

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son componentes importantes de la comunidad microbiana de la rizosfera, que colonizan las raíces de las plantas y establecen simbiosis. Su función es facilitar la asimilación de nutrientes a las plantas, inclusive en suelos infértiles, lo que se traduce en la promoción de su crecimiento y reproducción de éstas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Adicionalmente, los HMA protegen a la planta contra la acción de algunos fitopatógenos del suelo (Espinoza-Victoria *et al.*, 2004). La información del beneficio que aportan los HMA a gramíneas, en particular en sorgo, es amplia.

Diferentes estudios de invernadero y campo han demostrado que estos microsimbiontes incrementan la biomasa seca, el peso de grano, la absorción de P, el contenido de clorofila, la extracción de agua del suelo a la planta, la longitud de la raíz y el rendimiento de grano (Bressan *et al.*, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

La investigación se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, se realizaron dos experimentos, con la finalidad de corroborar los datos obtenidos de la primera investigación, el primer ciclo se realizó de junio a noviembre de 2015 y la segunda comprendió del mes de junio a noviembre de 2016. Las condiciones de temperatura mínima y máxima promedio registradas durante el primer experimento fueron 15°C y 33°C respectivamente, la humedad relativa mínima fue de 25% y la máxima de 78%. Las temperaturas mínima y máxima del segundo experimento fueron 12.4°C y 37.9°C respectivamente, la humedad mínima fue de 23.9% y la máxima de 69.6%.

Preparación del experimento

Se utilizaron plántulas de pimiento morrón variedad Lambourgini de 12 cm de altura, cada plántula fue trasplantada en un contenedor de polietileno con capacidad de 10L de volumen. Los contenedores se llenaron con una mezcla de lombricomposta, turba ácida y perlita en proporciones de 60%, 20% y 20%, respectivamente. Posteriormente, para la distribución de los tratamientos (Cuadro 4) se modificaron cuatro soluciones nutritivas basadas en la formulación de Steiner (Steiner, 1984) así como cuatro concentraciones de inoculantes, para bacterias de *Azospirillum sp.* fueron 10^4 y 10^6 UFC ml⁻¹ y *G. intraradices* se aplicaron 25 y 50 esporas.

Para la aplicación de las esporas de micorrizas se preparó una suspensión con 0.1 g del producto comercial diluido en 100 ml de agua destilada la cual fue aplicada a cada planta, mientras que para la dosis de 25 esporas se pesó 0.05 g de producto. En el caso de las bacterias se realizaron diluciones de la cepa original (10^{10} UFC ml⁻¹) hasta lograr las dos concentraciones usadas (10^4 y 10^6 UFC ml⁻¹). Se realizaron tres inoculaciones (Nuncio *et al.*, 2014) la primera se aplicó al día siguiente del trasplante y dos más cada 30 días.

Cuadro 4. 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 sp</i> (AZ10 ⁴)	10 ⁴ UFC ml ⁻¹	50%–100%
3. <i>Azospirillum sp</i> (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.

Medición de variables agronómicas y nutraceuticas

Las variables agronómicas medidas fueron: altura de planta, diámetro de tallo, diámetro ecuatorial y polar del 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).

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. 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. El ácido ascórbico (vitamina C) se determinó por el método visual 2-6 diclofenol indofenol (A.O.A.C, 1990). El pH se determinó colocando una gota del jugo del fruto en el lector del potenciómetro Horiba (LAQUAtwin B-712).

Para la determinación de carotenos 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.

Estimación de micorrización y cuantificación de UFC

El experimento finalizó a los 145 días después del trasplante. Para la determinación del porcentaje de micorrización se usaron cuatro plantas por cada tratamiento y se utilizó la técnica de clareo y tinción de raíces descrito por Philips y Hayman (1970). Posteriormente las raíces teñidas se segmentaron a 1 cm de longitud colocando 100 segmentos en portaobjetos con tres repeticiones, los cuales fueron observados a 10 y 40 x en el microscopio óptico. El aislamiento de la bacteria del material vegetal se realizó lavando 1g de la raíz con agua destilada tratando de eliminar todo el sustrato posible, en seguida se colocaron en tubos con tapa de 18 x 150 mm con 10 ml de NaCl al 0.085% previamente esterilizado. Se incubó a 30°C durante 24 horas. Se preparó el medio Nfb selectivo para *Azospirillum sp.* (Dobereiner y Day, 1975). La cuantificación de UFC se determinó mediante el método de dilución.

Determinación de contenido mineral en fruto

Para determinar la concentración de P se empleó el método colorimétrico (Bray y Kurtz, 1945), se deshidrató el fruto de pimiento, se molió y se tomó una muestra de 1g, dicha muestra se sometió a calcinación a una temperatura de 650°C durante tres horas, después a la muestra calcinada se le agregaron 10 ml de ácido nítrico y 1ml de peróxido de hidrógeno. Se filtra y se afora con agua desionizada a 100ml. Posteriormente se tomó una alícuota de 1ml agregándole 5ml de molibdato de amonio y 2ml de reactivo ANSA (reposo de 20 min). Se leyó la muestra en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 640nm.

La determinación de N se realizó mediante el método micro Kjeldahl (Brearen y Mulvaney, 1982). Se tomó una muestra de 0.05 g colocándola en un matraz de

digestión, se agregaron 4 ml de mezcla digestora y después se acomodó en el microdigestor hasta que la muestra alcanzó un color verde limón y se dejó enfriar para posteriormente llevarlo al destilador micro Kjeldahl.

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.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del primer experimento realizado de junio a noviembre del 2015 se muestran en el Cuadro 5. El tratamiento que permitió un aumento en la altura de planta (28%) fue el AZ10⁴+G50, mientras que para el diámetro de tallo los tratamientos AZ10⁶+G25 y AZ10⁶+G50 superaron al testigo. El tratamiento AZ10⁴+G50 presentó el mayor diámetro ecuatorial de fruto aunque fue estadísticamente igual al resto de los tratamientos inoculados con *Azospirillum* y *G. intraradices*, pero estadísticamente superior al testigo. En cuanto al diámetro polar no se encontró diferencia estadística entre los tratamientos.

El mayor peso de fruto se obtuvo en el tratamiento AZ10⁶+G50, sin embargo, todos los tratamientos inoculados con microorganismos benéficos están dentro del mismo grupo estadístico, excepto el tratamiento AZ10⁴ y el control. Castillo *et al.* (2009) obtuvieron resultados que demuestran que el uso de microorganismos benéficos en el cultivo de pimiento morrón ayuda incrementar el tamaño del fruto.

El tratamiento AZ10⁶+G50 incrementó el rendimiento del cultivo en un 66% en comparación del tratamiento control, Oseni *et al.* (2010) lograron incrementar el rendimiento en el cultivo de tomate con el uso de hongos micorrízicos arbusculares. La producción total del tratamiento AZ10⁶+G50 alcanzó 8,55kg/m² y en promedio el peso de fruto fue de 211 g. La producción obtenida en un ensayo realizado por Martínez *et al.* (2006) mostró una producción total de pimiento de 10,25 kg/m² bajo condiciones de invernadero y sustratos ecológicos, los resultados de rendimiento obtenido en este estudio es muy aproximado al obtenido en la presente investigación.

Cuadro 5. Efecto de los inoculantes microbianos para variables agronómicas y rendimiento en cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento junio-noviembre 2015)

Tratamiento	Altura (cm)	DT (mm)	DE (cm)	DP (cm)	PFr (g)	Ren (ton/ha/año)
Control	57.2 b	8.0 b	5.7 c	6.0 b	118.3 c	105 c
AZ10 ⁴	60.5 b	9.9 ab	8.5 b	7.3 a	191.3 b	112 bc
AZ10 ⁶	60.5 b	10.1 ab	8.9 b	7.7 a	233.8 ab	113 bc
G25	60.2 b	10.2 ab	8.8 b	7.3 a	217.5 ab	118 bc
G50	62.5 ab	9.7 ab	9.1 b	7.1 a	212.5 ab	120 bc
AZ10 ⁴ +G25	65.7 ab	9.6 ab	9.3 ab	7.2 a	225.0 ab	128 b
AZ10 ⁴ +G50	78.0 a	10.4 ab	9.5 a	7.5 a	234.5 ab	136 ab
AZ10 ⁶ +G25	63.0 ab	11.2 a	9.3 ab	7.3 a	211.3 ab	130 b
AZ10 ⁶ +G50	64.7 ab	10.9 a	9.2 ab	8.1 a	275.0 a	175 a

DT=diámetro de tallo, DE=diámetro ecuatorial, DP=diámetro polar, PFr=peso de fruto, Ren=rendimiento. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

Los resultados de variables agronómicas del experimento número dos, realizado de los meses de junio a noviembre del 2016, se muestran en el Cuadro 6. Se observa que en la variable de altura de planta el tratamiento AZ10⁶+G50 muestra un incremento del 47% en comparación al control, en el primer experimento el tratamiento AZ10⁴+G50 fue el que mostró el mayor valor en esta variable (78 cm), sin embargo en el segundo experimento no se presentó ningún aumento considerable, aunque el tratamiento AZ10⁶+G50 en el segundo experimento superó el mayor valor del primer estudio con un resultado de 88cm de altura de planta. El diámetro promedio de tallo del tratamiento AZ10⁶+G50 fue de 17.8 mm mostrando un aumento del 80% en comparación al testigo, en el primer y segundo experimento los tratamientos AZ10⁶+G25 y AZ10⁶+G50 son los que presentaron mayores valores. En cuanto al diámetro ecuatorial del fruto se corroboró que los tratamientos con combinación de

bacterias y hongos promueven el desarrollo de esta variable, pero en el diámetro polar tanto en el primero como en el segundo experimento no mostró ninguna diferencia entre todos los tratamientos. La calidad del fruto en la variable de peso, muestra que el tratamiento con combinación de 10^6 UFC ml^{-1} con 50 esporas registró un peso promedio de 323 g y en el primer experimento 270 g (9.42 y 8.55 kg planta) respectivamente. Por ello los mayores rendimientos obtenidos de ambos experimentos se obtuvieron del tratamiento $\text{AZ}10^6+\text{G}50$.

Cuadro 6. Efecto de los inoculantes microbianos para variables agronómicas y rendimiento en cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento junio-noviembre 2016)

Tratamiento	Altura (cm)	DT (mm)	DE (cm)	DP (cm)	PFr (g)	Ren (ton/ha/año)
Control	59.8 c	9.9 e	7.7 e	7.4 a	186.6 c	108.6 e
$\text{AZ}10^4$	67.8 b	11.6 de	8.4 de	7.4 a	227.8 bc	132.5 d
$\text{AZ}10^6$	71.3 b	11.6 de	8.6 cde	7.5 a	250.5 abc	145.7 bcd
G25	58.0 c	13.0 cd	8.9 cd	7.3 a	242.3 bc	140.8 cd
G50	70.3 b	12.7 d	9.4 bc	6.6 a	243.3 bc	141.6 cd
$\text{AZ}10^4+\text{G}25$	68.3 b	14.7 bc	9.5 bc	6.9 a	269.0 ab	155.6 bc
$\text{AZ}10^4+\text{G}50$	73.5 b	14.8 bc	9.4 bcd	7.4 a	277.5 ab	161.5 b
$\text{AZ}10^6+\text{G}25$	73.0 b	15.9 ab	9.6 ab	6.5 a	246.5 abc	143.4 cd
$\text{AZ}10^6+\text{G}50$	88.0 a	17.8 a	10.3 a	7.8 a	324.0 a	188.5 a

DT=diámetro de tallo, DE=diámetro ecuatorial, DP=diámetro polar, PFr=peso de fruto, Ren=rendimiento.. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p<0.05$.

En investigaciones realizadas se han reportado valores de SST de 2.9 a 5.8 °Brix en frutos de pimiento (Rao *et al.*, 2011); en el presente estudio, los SST aumentaron en los tratamientos con combinación de hongos y bacterias ($\text{AZ}10^4+\text{G}25$, $\text{AZ}10^4+\text{G}50$, $\text{AZ}10^6+\text{G}25$ y $\text{AZ}10^6+\text{G}50$) (Cuadro 7), existiendo así

diferencia del 49% en relación al testigo, Castro *et al.* (2011) reportaron SST de 4.8 en pimiento, lo cual fue superado por los tratamientos aplicados en el presente estudio.

Con respecto a la vitamina C los tratamientos G25, G50 y las combinaciones de bacterias más HMA incrementaron el contenido de ácido ascórbico, sin embargo el tratamiento AZ10⁶+G50 (210 mg/100g) fue quien obtuvo mayor resultado, pues fue 120% mayor en relación al tratamiento sin inocular (95 mg/100g).

Morales (2013) encontró resultados similares con el uso de inoculantes microbianos ya que se incrementó el contenido de vitamina C (175 mg/100g) en pimiento morrón a comparación de un tratamiento sin inocular (80 mg/100g). Matsufuji *et al.* (2007) y Deepa y *et al.* (2006) señalan valores por debajo de los obtenidos en esta investigación. Deepa *et al.* (2006) concluyen que la concentración de ácido ascórbico 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, lo cual se reafirma con nuestros resultados ya que mediante la inoculación con microorganismos benéficos también fue posible incrementar la concentración de este ácido.

La concentración total de ácidos contenidos en un fruto u hortaliza es determinado mediante una volumetría ácido-base. En el caso del pimiento el ácido presente en este fruto es el ácido cítrico, él juega un papel importante en el cultivo, ya que influye en el sabor, el color, la estabilidad microbiana y sobre todo en la calidad de conservación (Domene y Segura, 2014). El índice de acidez o contenido porcentual de ácido cítrico en el pimiento morrón amarillo oscila entre 0.25% a 0.41% mostrando así que el tratamiento AZ10⁶ +G25 (0.65%) y AZ10⁶+G50 (0.77%) incrementaron el contenido de ácido cítrico cuatro veces más en relación al testigo. Por otro lado se puede observar en la Figura 3 que el pH se comporta de acuerdo a la variación del índice de acidez, cuando el porcentaje de ácido cítrico aumenta el pH disminuye, y viceversa. Este comportamiento se ha reportado en diversos frutos pero en general se observa en el pimiento morrón (Morales, 2013).

Cuadro 7. Efecto de los inoculantes microbianos sobre las variables de calidad nutracéutica del pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento junio-noviembre 2015)

Tratamiento	SST (°Brix)	IA (%/100g)	pH	Vitamina C (mg/100g)	Carotenoides (µg /100g)
Control	5.1 e	0.18 e	5.12 a	95.17 g	131 b
AZ10 ⁴	5.6 de	0.24 de	5.06 b	128.67 de	318 a
AZ10 ⁶	5.5 de	0.28 cde	4.98 c	118.27 f	205 ab
G25	6.5 bc	0.45 bcd	4.82 e	139.55 c	187 ab
G50	6.1 cd	0.49 bc	4.86 d	158.5 b	173 b
AZ10 ⁴ +G25	6.4 bcd	0.4 cde	4.81 f	118.8 f	164 b
AZ10 ⁴ +G50	6.5 bc	0.33 cde	4.64 g	135.5 cd	263 ab
AZ10 ⁶ +G25	7.1 ab	0.65 ab	4.02 i	125.07 ef	205 b
AZ10 ⁶ +G50	7.6 a	0.77 a	4.21 h	210 a	240 ab

SST= sólidos solubles totales, IA= índice de acidez. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

Sin duda la medida potenciométrica más importante es el pH ya que está relacionado estrechamente con contenido de ácidos presentes en el fruto, valores bajos de pH en el fruto actuaran a nivel fisiológico como barrera natural frente a la acción microbiana. Por todo esto el tratamiento AZ10⁶+G50 resultó el mejor en cuanto a la concentración de ácido cítrico/pH.

Muchos estudios atribuyen a los carotenos diversas propiedades benéficas a la salud humana como la capacidad antioxidante, antitumoral y provitamina A (Rodríguez-Berruezo y Nuez, 2006). En el Cuadro 7, se observa que en el contenido de carotenoides existe un efecto positivo en la concentración de este, aumentando en 142% el tratamiento AZ10⁴ con relación al testigo. Estudios realizados en pimiento, reportan que el contenido de carotenos en pimiento amarillo es de 87.8 a 101.3 mg/100g (Burns *et al.*, 2003).

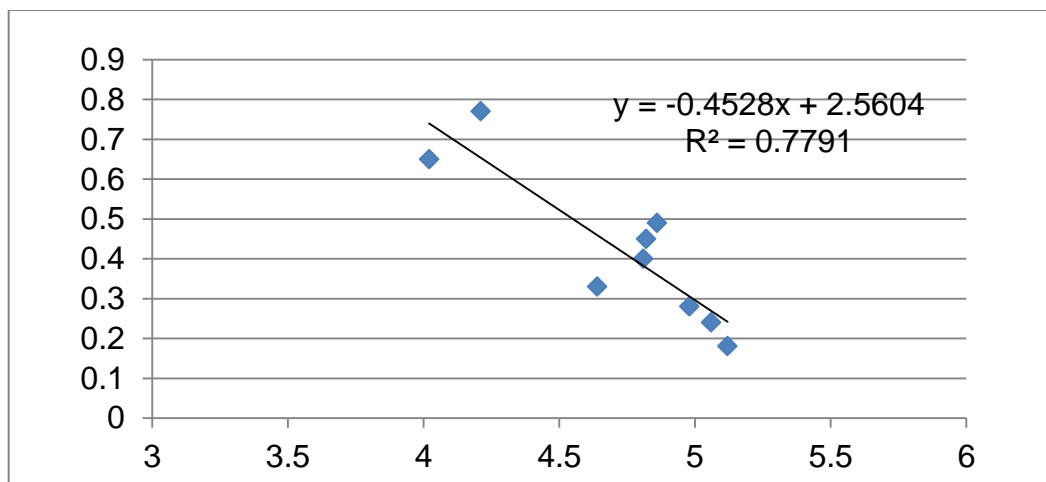


Figura 3. Relación entre índice de acidez (y) y pH (x) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento)

Los resultados de las variables nutraceuticas analizadas en el segundo experimento se muestran en el Cuadro 8, corroboramos los resultados con el primer experimento, se observa que en todas las variables nutraceuticas el tratamiento AZ10⁶+G50 mostró los mejores resultados, a excepción del contenido del pH, que como se comentó anteriormente, las variables de índice de acidez y pH están relacionadas, cuando el pH del jugo del pimiento morrón es ácido esto nos indica una mayor presencia de ácidos orgánicos, y por ende cuando el pH es menor el IA es mayor y viceversa (Hernández-Fuentes *et al.*, 2010). El contenido de carotenoides en este segundo experimento mostró que los mejores resultados se logran con el tratamiento AZ10⁴ con 297.7 $\mu\text{g}/100\text{g}$, este tratamiento en el experimento número uno también expresó el mejor resultado con un promedio de 318 $\mu\text{g}/100\text{g}$.

Cuadro 8. Efecto de los inoculantes microbianos sobre las variables de calidad nutracéutica del pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento junio-noviembre 2016)

Tratamiento	SST (°Brix)	IA (%/100g)	pH	Vitamina C (mg/100g)	Carotenoides (µg /100g)
Control	4.3 f	.16 e	5.0 a	95.8 d	121.7 c
AZ10 ⁴	5.6 de	.26 de	4.8 bc	96.9 d	297.7 a
AZ10 ⁶	6.0 cd	.28 cd	4.5 de	98.8 d	208.3 bc
G25	5.0 ef	.19 e	4.9 ab	124.2 bc	184.6 bc
G50	6.7 bc	.29 cd	4.7 cd	138.9 b	179.3 bc
AZ10 ⁴ +G25	6.4 bcd	.37 c	4.7 cd	116.6 cd	157.6 bc
AZ10 ⁴ +G50	6.5 bcd	.58 b	4.4 e	106.9 cd	251.2 ab
AZ10 ⁶ +G25	7.2 ab	.59 b	4.3 e	139.5 b	178.7 bc
AZ10 ⁶ +G50	7.7 a	.72 a	4.0 f	192.6 a	234.0 ab

SST= sólidos solubles totales, IA= índice de acidez. Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

En el Cuadro 9 se observa que las unidades formadoras de colonias en el tratamiento AZ10⁶ se incrementaron mil veces más durante el desarrollo del cultivo de pimiento en las raíces (1.7×10^{10}). El porcentaje más alto de micorrización se presentó en los tratamientos AZ10⁴+G25 y AZ10⁶+G25, sin embargo el tratamiento AZ10⁶+G50 fue el que presentó los mejores resultados nutracéuticos el cual mostró un 51% de micorrización, quizá esta combinación sea suficiente para lograr el mejor efecto.

La capacidad de las plantas para responder adecuadamente a la disponibilidad de nutrientes es fundamental para su adaptación al medio ambiente, los procesos de desarrollo como la formación de pelos radicales, crecimiento de la raíz primaria y la formación de raíces secundarias, son sensibles a los cambios en la concentración de nutrientes (Marschner *et al.*, 1987).

Cuadro 9. Cuantificación de Unidades Formadoras de Colonias (ml^{-1}) y Porcentaje de Micorrización en raíces de pimiento morrón var. Lambourgini

Tratamiento	UFC ml^{-1}		% micorrización	
Control	3.3×10^2	h	5	e
AZ10 ⁴	2.3×10^9	d	26	de
AZ10 ⁶	1.7×10^{10}	a	28	cd
G25	6.7×10^2	g	41	cd
G50	6.7×10^2	g	71	ab
AZ10 ⁴ +G25	2.7×10^9	c	75	a
AZ10 ⁴ +G50	3.3×10^9	b	68	ab
AZ10 ⁶ +G25	1.3×10^8	f	78	a
AZ10 ⁶ +G50	1.7×10^9	e	51	bc

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

En lo que respecta al contenido de N y P en frutos de pimiento morrón (Cuadro 10), las concentraciones de ambos minerales mostró un efecto positivo principalmente en el tratamiento AZ10⁶+G50 combinada con solución nutritiva al 50%, el contenido de P en este tratamiento fue de 0.53% semejantes a los obtenidos por Albiach (*et al.*, 2008) y Pellicer (*et al.*, 2008) con fertilización ecológica. En las Figuras 4 y 5 se muestra que cuando la concentración de estos dos minerales aumentó el rendimiento fue afectado positivamente, la dosis contenida en el tratamiento AZ10⁶+G50 ayuda a aumentar el contenido nutricional del fruto de pimiento morrón y además la solución nutritiva utilizada en este tratamiento ayuda a minimizar el uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados hasta en un 50%.

Cuadro 10. Efecto de los inoculantes microbianos sobre el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento)

Tratamiento	% P	% N
Control	0.20 c	1.10 c
AZ10 ⁴	0.24 c	1.65 b
AZ10 ⁶	0.24 c	1.74 b
G25	0.30 cb	1.20 cd
G50	0.30 cb	1.40 cd
AZ10 ⁴ +G25	0.31 cb	1.58 bc
AZ10 ⁴ +G50	0.30 c	1.58 bc
AZ10 ⁶ +G25	0.40 b	1.82 ab
AZ10 ⁶ +G50	0.53 a	2.18 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

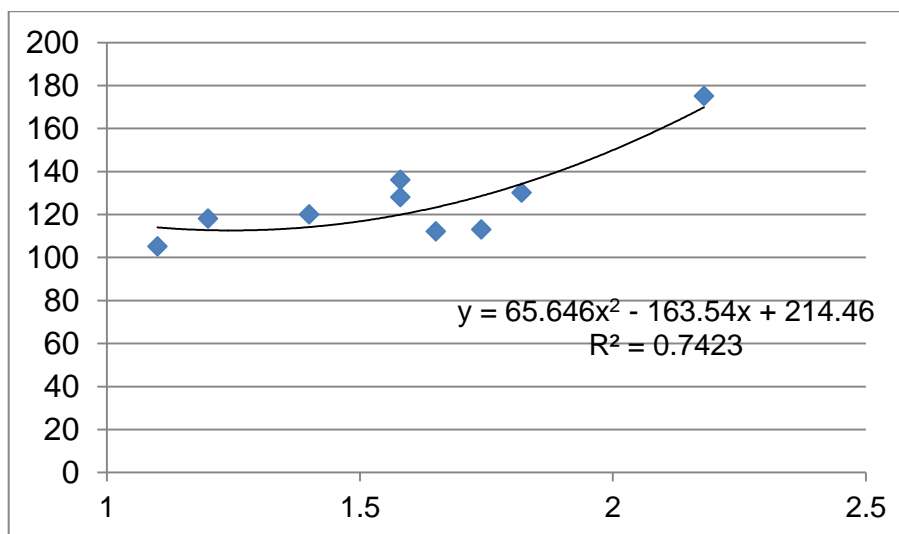


Figura 4. Relación entre el contenido de N en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento)

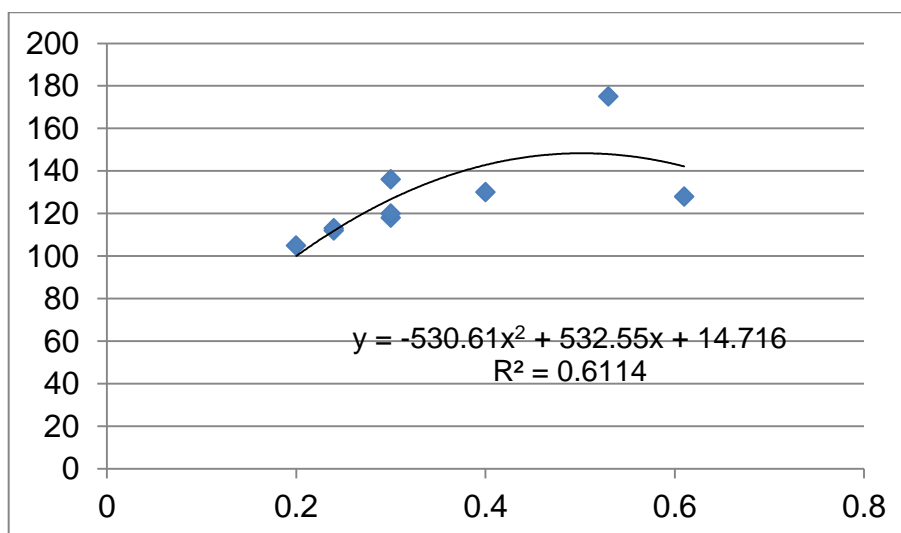


Figura 5. Relación entre el contenido de P en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (1er experimento)

En el Cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos de la extracción mineral correspondiente al segundo experimento, se reafirma que el tratamiento AZ10⁶+G50 arrojó mejores resultados en el contenido de los minerales N y P en el fruto de pimiento morrón, y en las Figuras 6 y 7 se observa lo mismo que en el primer ciclo del cultivo, cuando la absorción mineral incrementa, el rendimiento se ve afectado positivamente, aumentándolo también.

Cuadro 11. Efecto de los inoculantes microbianos sobre el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento)

Tratamiento	% P	% N
Control	0.19 d	1.36 ef
AZ10 ⁴	0.20 d	1.63 cd
AZ10 ⁶	0.22 d	1.89 bc
G25	0.33 c	1.26 f
G50	0.30 c	1.49 def
AZ10 ⁴ +G25	0.31 c	1.71 bcd
AZ10 ⁴ +G50	0.36 bc	1.86 bc
AZ10 ⁶ +G25	0.40 b	2.02 a
AZ10 ⁶ +G50	0.49 a	2.21 a

Promedios seguidos de la misma letra indica diferencias no significativas de acuerdo con la prueba de Tukey con $p < 0.05$.

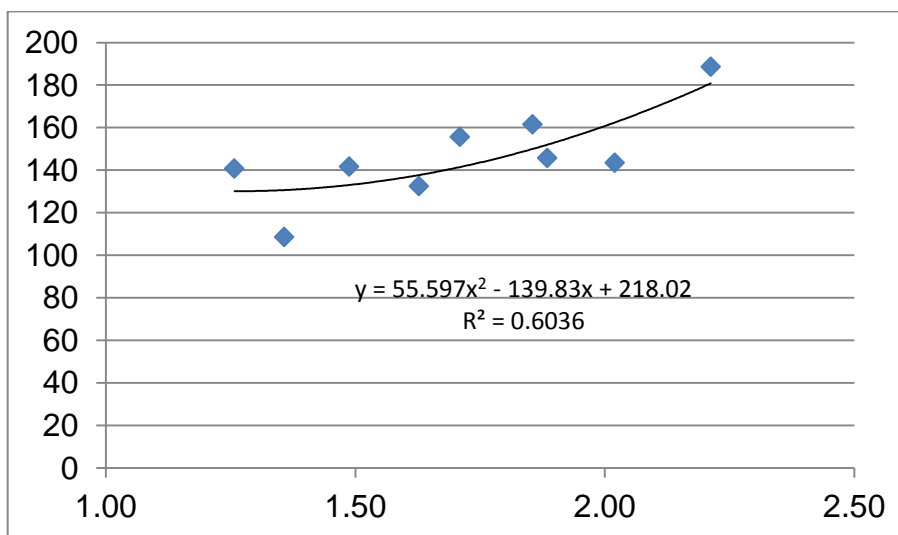


Figura 6. Relación entre el contenido de N en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini (2o experimento)

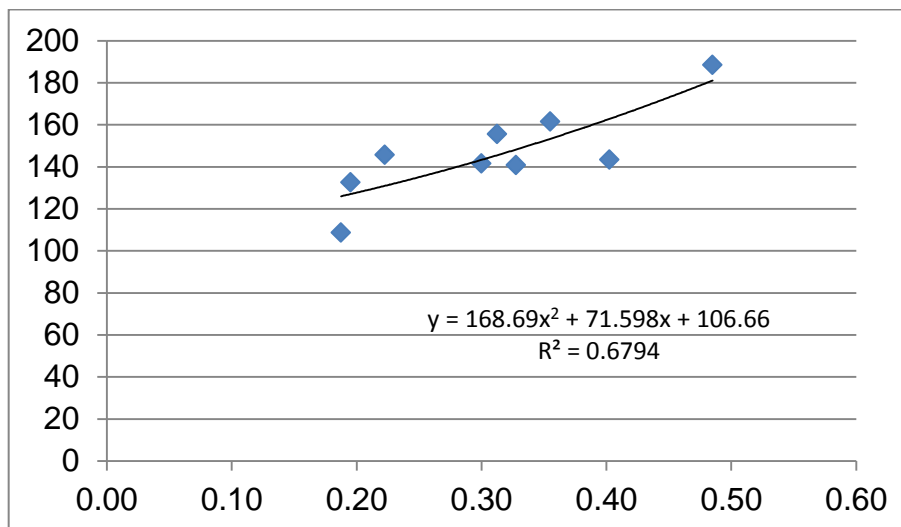


Figura 7. Relación entre el contenido de P en fruto (x) y el rendimiento (y) en el cultivo de pimienta morrón var. Lambourgini (2o experimento)

CONCLUSIONES

El uso de endomicorrizas (25 y 50 esporas) y bacterias 10^4 y 10^6 UFC/ml en el cultivo de pimiento morrón variedad Lambourgini tuvo efectos positivos en las variables agronómicas de altura y diámetro de tallo, peso de fruto y rendimiento. La calidad nutracéutica aumentó en los parámetros de SST, IA, vitamina C y los carotenos con el uso de microorganismos benéficos, con respecto al control que únicamente constó de fertilización Steiner (química). En cuanto al contenido mineral, se mostraron efectos positivos, aumentando la cantidad de los minerales analizados (N y P) y reduciendo el uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados en un 50% en el cultivo de pimiento morrón. Se concluye que el tratamiento 9, con dosis de 10^6 UFCml⁻¹+50 esporas, es el que mejores resultados mostró en las variables agronómicas, rendimiento, calidad nutracéutica y contenido mineral en ambos experimentos realizados.

REFERENCIAS

- Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agr. Téc. Méx.* 26: 191-203.
- Armenta-Bojórquez, A. D., Airola-Gallejos, V. M., y Apodaca-Sánchez, M. A. (2009). Selección de aislados nativos de *Bacillus subtilis* para la producción de plántulas de tomate en Sinaloa. Primer Simposium Internacional de Agricultura Ecológica. INIFAP. Cd. Obregón, Sonora, México. 252-256 pp.
- AOAC (1990) Official Method 932.12 Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Products Refractometer Method. *Agric. Chem.* 15 th. Washington, D.C. p. 1298.
- AOAC (2005) Official Method 942.15. Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of AOAC International, ed. 18, Cap. 37, p.10.
- AOAC. (1990). Official methods of analysis. 967.21. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington Virginia E.U. p.1000-1050.
- Azcón, R. (2000). Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola”, en Alarcón, A. y R. Ferrera (eds). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. Colegio de Posgraduados, Ediciones Mundi Prensa, Montecillo, México, p. 1-15-2000.
- Bashan de, L. E.; Holguin, G.; Glick, B. R. y Bashan, Y. (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A. (Eds.). *Microbiología agrícola: hongos, bacteria, micro y macrofauna, Control biológico, Planta-microorganismo*. Trillas, México. pp 177-224.
- Bashan, Y.; Holguin, G. y De Bashan, L. E. (2004). *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology* 50:521–577.
- Blanco F, Fabio y Salas , Eduardo. (1997) .Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1): 55-67.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Brearen, L., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In: A. .L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (Agronomy 9)*. ASA, SSSA. Madison, WI, USA. 595-634.

- Bressan, W., Siqueira, J. O., Vasconcellos, C. A. & Purcino, A. A. (2001). Mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, yield and nutrition of intercropped grain sorghum and soybean. *Pesquisa Agrop. Brasileira*. 36: 315-323
- Caballero-Mellado, J. (2006). Agriculture microbiology and microbe interaction with plants. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 48(2): 154-161.
- Castillo, C.; Sotomayor, L.; Ortiz, C.; Leonelli, G. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chileanjar*, 69(1):79-87.
- Castro S.M.; Saraiva J.A.; Domínguez F.M.; Delgadillo I. (2011). Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum*). *LWT - Food Science and Technology*. 44:363-369.
- Crews T. E. & Peoples M. B. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 102: 279-297.
- Desgan, Y. H.; Kusvaran, S. and 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.
- Díaz-Franco, A. y Ortegón, M. A. (2006). Efecto de la inoculación con *Azospirillum brasilense* y fertilización química en el crecimiento y rendimiento de canola (*Brassica napus*). *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 63 - 67.
- Döbereiner J & Day J. M. (1975). Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and nitrogen-fixing sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, 1, Washington State University, Pullman, WA, USA, p. 518-538.
- 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, 2014. Disponible: <http://www.fundacioncajamar.es/pdf/bd/comun/transferencia/005-calidad-interna-1410512030.pdf>. [Último acceso: junio 2017].
- Espinosa-Victoria, D., González-Mendoza D., Placencia-de la Parra J. y García-Espinosa, R. (2004). Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. *Terra Latinoamericana*. 22: p. 317-326.
- Finlay, R. D. (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Reino Unido. J. Exp. Bot.* 59(5):1115-1126

- FAO, (2013). FAOSTAT. [En línea] Available at: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [último acceso: septiembre 2016].
- García-Olivares, J. G.; Mendoza-Herrera, A. y Mayek-Pérez, N. (2012). Efecto de *Azospirillum* brasilense en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México. *Universidad y Ciencia*. 28: 79 - 84.
- Grageda-Cabrera, O.A., F. Esparza-García & J.J. Peña-Cabriale (2000). Environmental impact of nitrogen fertilizers in the "Bajío" region of Guanajuato State, Mexico. In: G. Sánchez and E. Olguín (eds.). *Environmental biotechnology and cleaner bioprocesses*. Taylor & Francis. London, UK. pp. 45-54.
- Hernández, A. N. (1998). Caracterización de cepas de Burkholderia (*Pseudomonas*) cepacia y *Pseudomonas fluorescens* aisladas de la rizosfera del maíz. La Habana. Tesis (en opción al grado científico de magíster en ciencias biológicas); Facultad de Biología. Universidad de la Habana.
- Hernández-Fuentes A. D., Campos Montiel R., Pinedo-Espinoza 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*. 11:82-91.
- Hernández, Y; Sistachs, E y Prieto, A. (1994). Respuesta del sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* vc sudanesa) a la inoculación con *Azospirillum* spp. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 28, no. 2, p. 245-250.
- Hurst J. W. (2002). *Methods of Analysis for Functional Foods and Nutraceuticals*. 1º ed. London. CRC PRESS. p. 104-115.
- Koltai, H. and Kapulnik. Y. (2010). *Arbuscular micorrizas: physiology and function*. Second Edition springer, London New York, US. 323 p.
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 86, 1-25.
- 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.
- Morales Ibarra, M., (2009). Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. Disponible en línea: http://www.pa.gob.mx/publica/rev_36/Marcel%20Morales%20Ibarra.pdf [último acceso: 05 septiembre 2016].

- Namesny V., A. (1996). El pimiento en el mundo. pp: 13-20. In: Pimientos: compendios de horticultura. Namesny V., A. (ed.) Ediciones de Horticultua, S.L. España.
- Nuncio Orta G.; Mendoza Villarreal R.; Robledo Torres V.; Vázquez Badillo M.; Almaraz Suárez J. (2014). Influencia de Rizobacterias en la germinación y vigor de semilla de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L 'var. Grande'). Saltillo, México. Vol .xx. p:1-16.
- Oseni, T.O.; Shongwe, N. S. and Masarirambi, M. T. (2010). Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. Pakistan. Int. J. Agr.Biol.12: 789-792.
- Pelletier N.; Audsley E.; Brodt S.; Garnett, T.; Henriksson P.; Kendall A.; Kramer K.J.; Murphy D.; Nemecek T.; Troell M. (2011). Energy intensity of agriculture and food systems. Annual Review Environment and Resources. 36: 223-246.
- Phillips, J. M. and Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Reino Unido. Transactions of the British Mycological Society. 1970; 55(1): 158-161.
- Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Reino Unido. Phil. Trans.R. Soc. B. 363:447-465.
- Rao R. T. V.; Gol B. N.; Shah K.K. (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Scientia Horticulturae. 132: 18–26.
- Requena, N. (2007). Plant signals and fungal perceptions during arbuscular mycorrhizal establishment. Phytochemistry, 68: 33-40.
- Sánchez de la Cruz, R., Díaz-Franco, A., Pecina-Quintero, V., Garza-Cano, I., y Loera-Gallardo, J. (2008). *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* en trigo bajo dos regímenes de humedad en el suelo. Universidad y Ciencia. 24: 239-245.
- Sieverding, Ewald. (1983). Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. Ca. p:121.
- Steenhoudt, O. y Vanderleyden, J. (2000). Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiol. Reviews 24: 487 – 506.
- Terry, E. (1998). Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*). [Tesis de maestría], ISCAH. p. 72.

- United States Department of Agriculture. (2013). On-line [<http://www.usda.gov/>]
- Universidad San Francisco de Quito, (2011). Repositorio digital. [En línea] Disponible en línea: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/865/1/74701.pdf> [Último acceso: 13-11-2016].
- 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, p. 18-26. Usuaga Carmen; Castañeda, Darío; Franco, Ana. 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.
- Velazco, A. (2000). Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en el cultivo de la caña de azúcar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, vol. 35 (5), p. 985-994.
- Winter, C. K. & Davis. F. S. (2006). Organic foods. Journal Food Science. A Publication of the Institute of Food Technologists. Vol 71 (9). p.117-124.
- 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].