

Evaluación del uso de endomicorrizas y *Azospirillum* sp. en la productividad y calidad nutraceutica de chile morrón (*Capsicum annuum*) en invernadero

E.A. Pérez-Velasco, R. Mendoza-Villarreal, A. Sandoval-Rangel, M. Cabrera-de la Fuente, V. Robledo-Torres y L.A. Valdez-Aguilar*

Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, CP.25315, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Resumen

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de *Azospirillum* sp. y *Glomus intraradices* en el cultivo de pimiento de color amarillo en condiciones de invernadero. Los tratamientos consistieron en diversas combinaciones que incluían soluciones diluidas de Steiner con 2 concentraciones de bacterias (10^4 y 10^6 UFC ml⁻¹), 2 concentraciones de endomicorrizas (25 y 50 esporas) y 4 tratamientos combinando bacterias y endomicorrizas. Se incluyó un tratamiento testigo con solución completa de Steiner. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con 9 tratamientos y 20 repeticiones. 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 nutraceutica (vitamina C, Sólidos Solubles Totales e índice de acidez) se mejoró con la inoculación de 50 esporas y 10^6 UFC ml⁻¹. En carotenoides los mejores resultados se obtuvieron con 10^4 y 10^6 UFC ml⁻¹ combinado con 50 esporas. Los minerales N y P aumentaron con el uso de los inoculantes en una dosis de 10^6 UFC ml⁻¹ combinado con 50 esporas y una solución nutritiva de 50%N-50%P. La concentración de N y P se incrementó en fruto en ambas concentraciones de inóculo de bacteria y esporas de micorrizas.

Palabras clave: Pimiento, *Glomus intraradices*, rizobacterias, lombricomposta.

Evaluation of endomycorrhizae and *Azospirillum* sp. in agronomic characteristics and nutraceutical quality of chilli pepper (*Capsicum annuum*) in greenhouse

Abstract

The objective of this study was to know the effect of *Azospirillum* sp. and *Glomus intraradices* in the cultivation of yellow pepper under greenhouse conditions. The treatments consisted in different combinations that included diluted solutions of Steiner with 2 concentrations of bacteria (10^4 and 10^6 CFU ml⁻¹), 2 concentrations of endomycorrhizae (25 and 50 spores) and 4 treatments combining bacteria and endomycorrhizae. A control treatment with complete Steiner solution was included. The experimental design was completely random blocks with 9 treatments and 20 repetitions. The plant height, stem diameter, equatorial and polar fruit diameter, fruit weight and yield variables showed better results using a combination of bacteria and fungi. The nutraceutical quality (Vitamin C, Total Soluble Solid and acid number) was improved with the inoculation of 50 spores and 10^6 CFU ml⁻¹. In carotenoids the best re-

* Autor para correspondencia: luisalonso_va@hotmail.com

Cita del artículo: Pérez-Velasco EA, Mendoza-Villarreal R, Sandoval-Rangel A, Cabrera-de la Fuente M, Robledo-Torres V, Valdez-Aguilar LA (2019). Evaluación del uso de endomicorrizas y *Azospirillum* sp. en la productividad y calidad nutraceutica de chile morrón (*Capsicum annuum*) en invernadero. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(1): 18-30. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.029>

sults were obtained with 10^4 and 10^6 CFU ml⁻¹ combined with 50 spores. Minerals N and P increased with the use of inoculants in a dose of 10^6 CFU ml⁻¹ combined with 50 spores and a nutritive solution of 50% N-50% P. The concentration of N and P increased in fruit in both concentrations of inoculum of bacteria and mycorrhizal spores.

Keywords: Pepper, *Glomus intraradices*, rhizobacteria, vermicompost.

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 más sostenible y con menor impacto sobre los recursos naturales. 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 tienen un efecto contaminante sobre el suelo ya que los microorganismos contenidos en estos se utilizan para aumentar la disponibilidad de algunos nutrientes como el P que es de baja disponibilidad (Ohtomo y Saito, 2005), fijar nitrógeno y aumentar la disponibilidad de nitrógeno en hortalizas, como tomate (Santillana et al., 2005) y cebolla (Balemi et al., 2007), y ofrecer a la raíz protección contra patógenos (Moraes-Ibarra, 2009).

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, cómo sucedió en un estudio de coinoculación con *Rhizofagus intraradices* + *Azospirillum brasilense* en donde se incrementó el número de frutos, pero al inocular *R. intraradices* + *Pseudomonas fluorescens* y *A. brasilense* indujeron frutos más grandes de chile jalapeño (Aguirre-Medina y Espinoza-Moreno, 2016), 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 factible (Caballero-Mellado, 2006); singularmente *Azospirillum* sp. ya que esta 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 et al. (2007) menciona que el género *Azospirillum* mejora el crecimiento vegetal porque existe liberación de auxinas, giberelinas y citocininas, estas a su vez estimulan 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 en pruebas de campo aumentó el rendimiento en un 21%

con respecto al control sin inocular (Prieto et al., 1994). En caña de azúcar se demostró que el uso de rizobacterias incrementó en un 12% el rendimiento (Velazco et al., 2000).

En cultivos como el tomate, la inoculación de HMA mostró excelentes resultados aumentando el tamaño del fruto y el rendimiento del cultivo (Oseni et al., 2010). El uso de endomicorrizas en el cultivo de chile provocó plantas de mayor altura y área foliar, así como precocidad en la cosecha, además el peso fresco aumentó 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, muestra 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 se ha descrito que los HMA pueden influir en la mejora de características fisicoquímicas del suelo reduciendo la erosión del mismo, gracias a la liberación de 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).

El fruto de pimiento 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) Muchos estudios atribuyen a los carotenos diversas propiedades benéficas a la salud humana como la capacidad antioxidante, antitumoral y provitamina A (Rodríguez-Burruezo y Nuez-Vi-

ñals, 2006). En pimiento, una de las principales características de calidad es el sabor del fruto, el cual está determinado por los sólidos solubles totales (SST) (Urrestarazu et al., 2002). Sin embargo, no existe información disponible 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) en el crecimiento, rendimiento y calidad nutracéutica de pimiento morrón cultivado en un sistema sin suelo, así como determinar si la aplicación independiente o combinada de estos organismos podría sustituir parcialmente la fertilización química convencional.

Material y métodos

Descripción del experimento

La investigación se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Saltillo, Coahuila, México, de junio a noviembre de 2015. Las condiciones de temperatura mínima y máxima promedio registradas durante el experimento fueron 15°C y 33°C respectivamente, la humedad relativa mínima fue de 25% y la máxima de 78%.

La siembra de las semillas de pimiento morrón variedad Lambourgini se realizó con semilla certificada en caja germinadora cuyo sustrato se esterilizó previamente (Peat Moss). Antes de llevar a cabo el trasplante se analizaron las raíces de cada tratamiento para revisar que no hubiera contaminación con endomicorrizas. Cuando las plantas tenían 12 cm de altura, fueron trasplantadas en contenedores de polietileno con capacidad de 10 L de volumen. Se utilizaron 20 plantas por tratamiento (4 repeticiones y 5 plantas por repe-

tición). Los contenedores se llenaron con una mezcla previamente esterilizada de lombricomposta (previo análisis de la densidad aparente, Materia Orgánica (MO) (alta), N (pobre), P (medio) y K (medio). (Tabla 1), turba ácida y perlita en proporciones de 60:20:20 respectivamente.

Posteriormente, para la distribución de los tratamientos (Tabla 2) 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 (AZ10⁴ y AZ10⁶ respectivamente) y

G. intraradices se aplicaron 25 y 50 esporas (G25 y G50 respectivamente).

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-Orta et al., 2014) la primera el día del trasplante y dos más cada 30 días.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos del experimento en el cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini.

Table 1. Description of the treatments of the experiment in the cultivation of bell pepper var. Lambourgini.

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

UFC = Unidades formadoras de colonias, SN = Solución nutritiva.

Variables evaluadas

Para las variables agronómicas de altura de planta y diámetro de tallo se midieron cinco plantas por repetición y para el diámetro ecuatorial y polar del fruto se midió un fruto por planta y repetición. Se contaron el nú-

mero de frutos/planta y se registró el peso de fruto (g) usando una balanza digital (OHAUS modelo OHA PIONEER PB1).

Las variables de calidad evaluadas fueron sólidos solubles totales (SST), ácidos totales (AT), pH, vitamina C y carotenos. Para ello se

Tabla 2. Efecto de los inoculantes microbianos sobre variables agronómicas y de calidad de fruto en cultivo de pimiento morrón var. Lambourgini.

Table 2. Effect of microbial inoculants on agronomic variables and fruit quality on bell pepper cultivation var. Lambourgini.

Tratamiento	Planta				Fruto	
	AP (cm)	DT (mm)	DE (cm)	DP (cm)	PFr (g)	PFrP (g)
Control	57,2 b	8,0 b	5,7 c	6,0 b	118,3 c	561,3 c
AZ10 ⁴	60,5 b	9,9 ab	8,5 b	7,3 a	191,3 b	568,7 bc
AZ10 ⁶	60,5 b	10,1 ab	8,9 b	7,7 a	233,8 ab	674,4 bc
G25	60,2 b	10,2 ab	8,8 b	7,3 a	217,5 ab	677,9 bc
G50	62,5 ab	9,7 ab	9,1 b	7,1 a	212,0 ab	674,3 bc
AZ10 ⁴ +G25	65,7 ab	9,6 ab	9,3 ab	7,2 a	225,0 ab	784,3 b
AZ10 ⁴ +G50	78,0 a	10,4 ab	9,5 a	7,5 a	234,5 ab	735,9 ab
AZ10 ⁶ +G25	63,0 ab	11,2 a	9,3 ab	7,3 a	211,3 ab	725,0 b
AZ10 ⁶ +G50	64,7 ab	10,9 a	9,2 ab	8,1 a	275,0 a	840,3 a

AP = altura de planta; DT = diámetro de tallo; DE = diámetro ecuatorial; DP = diámetro polar; PFr = peso de fruto; PFrP = peso de fruto por planta. AZ10⁴, AZ10⁶ son *Azospirillum* sp a concentración de 10⁴ y 10⁶ UFC ml⁻¹; G25 y G50 son *Glomus intraradices* con 25 y 50 esporas respectivamente. Valores seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas. Nivel de significancia P < 0,05; Test de Tukey.

evaluaron 12 frutos (3 plantas por cuatro repeticiones) por tratamiento. Los sólidos solubles totales se determinaron por el método 932.12 (AOAC, 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 cuadro pequeño de la parte media del fruto y se exprimó hasta tener una gota de jugo que se colocó en el sensor. La acidez titulable o índice de acidez (IA) se determinó de acuerdo a la metodología 942.15 (AOAC, 2000) expresando los datos como porcentaje de ácido cítrico. El ácido ascórbico (vitamina C) se determinó por el método volumétrico 2-6 diclorofenol indofenol (AOAC, 1980). 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.

Al igual que para las variables de calidad, se analizaron los contenidos de nitrógeno y fósforo en 12 frutos (3 plantas por 4 repeticiones). Para ello se deshidrataron previamente, utilizando 1 g de peso seco de fruto para las determinaciones de P, con el método colorimétrico AOAC (1980), y 0,05 g de peso seco para la determinación de N por el método de micro-kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

El experimento finalizó a los 145 días después del trasplante. Para la determinación del por-

centaje de micorrización se usaron cuatro plantas por cada tratamiento y se utilizó la técnica de clareo y tinción de raíces descrito por Phillips 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 se llevó a cabo en raíces (rizósfera) de plantas de pimiento. Se eliminó el sustrato adherido a las raíces lavando con agua, posteriormente se realizaron cortes de raíces secundarias las cuáles fueron lavadas con agua destilada y pesadas (1 g), de cada planta se tomaron 4 muestras, posteriormente se colocaron en tubos (18 x 150 mm) con tapones de rosca que contenían 10 ml de NaCl al 0,85% previamente esterilizado. Los tubos se incubaron a 30°C durante 24 horas, posteriormente se realizaron diluciones cuantificando 10^9 , 10^{10} y 10^{11} . Las diluciones se sembraron en el medio NFb (Döbereiner, 1992; Döbereiner y Day, 1976) selectivo para *Azospirillum* sp., previamente preparado. La cuantificación de UFC se determinó mediante el método de dilución en placa.

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

Para las variables de planta (Tabla 2) se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) en relación al control con un incremento del 36% en coinoculación AZ10⁴+G50 en altura de planta. Las plantas tratadas con AZ10⁶+G25 y AZ10⁶+G50 aumentaron el diámetro de tallo respecto al control en un 40 y 36%, respectivamente. En fruto, el diámetro ecuatorial se incrementó

en 66,7% con AZ10⁴+G50. Para el diámetro polar, peso de fruto y peso de fruto por planta, se incrementaron en relación al control en 35%, 132,5%, y 49,7% respectivamente con la inoculación de AZ10⁶+G50. Para la producción total, el tratamiento AZ10⁶+G50 incrementó el rendimiento del cultivo a comparación del tratamiento control en un 66%, obteniendo 8,4 kg m⁻² y 275 g fruto⁻¹ (Tabla 2). Los resultados obtenidos en éste experimento concuerdan con Castillo et al. (2009), quienes inocularon una cepa nativa de endomicorrizas (*Glomus claroideum*) en un cultivo ecológico de ají; y con Oseni et al. (2010), que en tomate hidropónico inocularon con dos especies de *Glomus*; *etunicatum* e *intraradice*, obteniendo mayor altura de planta, área foliar y un incremento del peso fresco de frutos. Sin embargo, al inocular con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter* y *Azospirillum*), aplicando materia orgánica y aminoácidos en cultivo de pimiento, la producción total de frutos y biomasa no fue diferente al testigo de acuerdo a Pellicer et al. (2008).

En la Tabla 3 se muestra que los SST se incrementaron en 49% en el tratamiento AZ10⁶+G50 existiendo así diferencia significativa en relación al testigo. Castro et al. (2011) reportó SST en 4,8 en pimiento, mientras que Ramana-Rao et al. (2011), reportaron valores de 2,9 a 5,8 en frutos de pimiento. El IA o contenido porcentual de ácido cítrico en el pimiento morrón amarillo oscila entre 0,25% a 0,41% mostrando así que los tratamientos AZ10⁶+G25 (0,65%) y AZ10⁶+G50 (0,77%) incrementaron el contenido de ácido cítrico cuatro veces en relación al tratamiento control. Este comportamiento se ha reportado en diversos frutos, pero en general se observa en el pimiento morrón (Morales-Guzmán, 2013). 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 actuarán a nivel fisiológico en el fruto como barrera natural frente a la acción

Tabla 3. Efecto de los inoculantes microbianos sobre las variables de calidad nutracéutica del pimiento morrón var. Lambourgini.

Table 3. Effect of microbial inoculants on the nutraceutical quality variables of bell pepper var. Lambourgini.

Tratamiento	SST (°Brix)	IA (%)	pH	Vit C (mg 100 g ⁻¹)	Car (mg 100 g ⁻¹)
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	158,50 b	173 b
AZ10 ⁴ +G25	6,4 bcd	0,40 cde	4,81 f	118,80 f	164 b
AZ10 ⁴ +G50	6,5 bc	0,33 cde	4,64 g	135,50 cd	263 ab
AZ10 ⁶ +G25	7,1 ab	0,65 ab	4,02 i	125,07 ef	205 ab
AZ10 ⁶ +G50	7,6 a	0,77 a	4,21 h	210,00 a	240 ab
Contrastes					
Control vs AZ10 ⁴ +G25	**	**	**	**	NS
Control vs AZ10 ⁴ +G50	**	*	**	**	**
Control vs AZ10 ⁶ +G25	**	**	**	**	**
Control vs AZ10 ⁶ +G50	**	**	**	**	**

SST = Sólidos Solubles Totales; IA = índice de acidez; pH= potencial hidrógeno; Vit C = Vitamina C; Car = Carotenoides. AZ10⁴, AZ10⁶ son *Azospirillum* sp. a concentración de 10⁴ y 10⁶ UFC ml⁻¹; G25 y G50 son *Glomus intraradices* con 25 y 50 esporas respectivamente. Valores seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas. Nivel de significancia P < 0,05; Test de Tukey.

microbiana. Por todo esto el tratamiento AZ10⁶+G25 resulta con el menor pH reduciéndose en 1,1 unidades. En el caso del pimiento el ácido presente en este fruto es el ácido cítrico, este 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-Ruiz y Segura-Rodríguez, 2014).

Con respecto a la vitamina C (Tabla 3) se observa que el tratamiento control es diferente al resto de los tratamientos, qué fueron mayores; y en relación al control, el AZ10⁶+G50 provocó

un incremento de 220,7%. Morales-Guzmán (2013) encontró que con el uso de inoculantes microbianos se incrementa el contenido de vitamina C (175 mg 100g⁻¹) en pimiento morrón en comparación con un tratamiento sin inocular (80 mg 100g⁻¹). Matsufuji et al. (2007) y Deepa et al. (2006) señalan valores por debajo de los obtenidos en esta investigación. También 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.

Muchos estudios atribuyen a los carotenos diversas propiedades benéficas a la salud humana como la capacidad antioxidante, antitumoral y provitamina A (Rodríguez-Burruezo y Nuez-Viñals, 2006). En la Tabla 3, para el contenido de caroteno se observa que existe un efecto positivo en la concentración de éste, aumentándolo 242,7% en el tratamiento AZ10⁴, con relación al control. Sin embargo, en este experimento los contenidos de carotenos en pimiento amarillo fueron superiores a los reportados por Burns *et al.* (2003), los cuáles fluctúan entre 87,8 y 101,3 mg 100g⁻¹. Los resultados de los contrastes ortogonales (Tabla 3) en las variables de calidad indicaron que no hubo diferencias del control con la inoculación de bacterias en las dos concentraciones AZ10⁴ y AZ10⁶ para

los SST y que la inoculación con hongos micorrízicos en las dos concentraciones (G25 y G50) no influyó en el contenido de carotenos, además de que tampoco hubo influencia sobre esta variable al inocular AZ10⁴+G25. Entonces, al combinar las 2 concentraciones de bacteria y de micorrizas se impacta en las variables de calidad evaluadas confirmándose el efecto sinérgico de los microorganismos en estudio.

En la Tabla 4 se observa que las unidades formadoras de colonias en el tratamiento AZ10⁴ se incrementaron cien mil veces más y en AZ10⁶ un millón de veces más durante el desarrollo del cultivo de pimiento. Al comparar AZ10⁴ con los tratamientos AZ10⁴+G25 y AZ10⁴+G50 hubo 17,4% y 43,5 % de incre-

Tabla 4. Cuantificación de Unidades Formadoras de Colonias de *Azospirillum* y Porcentaje de Micorrización (*Glomus intraradices*) en raíces de pimiento morrón var. Lambourgini.

Table 4. Quantification of Colony-Forming Units of *Azospirillum* and Percentage of Mycorrhization (*Glomus intraradices*) in bell pepper roots var. Lambourgini.

Tratamiento	UFC ml ⁻¹	% M
Control	3,3 x 10 ² h	5 e
AZ10 ⁴	2,3 x 10 ⁹ d	26 de
AZ10 ⁶	1,7 x 10 ¹⁰ a	28 cd
G25	6,7 x 10 ² g	41 cd
G50	6,7 x 10 ² g	71 ab
AZ10 ⁴ +G25	2,7 x 10 ⁹ c	75 a
AZ10 ⁴ +G50	3,3 x 10 ⁹ b	68 ab
AZ10 ⁶ +G25	1,3 x 10 ⁸ f	78 a
AZ10 ⁶ +G50	1,7 x 10 ⁹ e	51 bc

UFC = Unidades formadoras de colonias; % M = porcentaje de micorrización. AZ10⁴, AZ10⁶ son *Azospirillum* sp a concentración de 10⁴ y 10⁶ UFC ml⁻¹; G25 y G50 son *Glomus intraradices* con 25 y 50 esporas respectivamente. Valores seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas. Nivel de significancia P < 0,05; Test de Tukey.

mento en UFC ml⁻¹. Al comparar AZ10⁶ con AZ10⁶+G25 y AZ10⁶+G50 hubo disminución de 100 y 10 veces la concentración de bacterias. En relación al porcentaje de micorrización G50, AZ10⁶+G25, AZ10⁴+G25 y AZ10⁴+G50 fueron iguales estadísticamente con un incremento de 14,2; 15; 13,6 y 15,6 veces en relación al control. Aunque también se debe tener en cuenta que la afinidad de las micorrizas depende de la especie, cómo se observó al inocular 50 esporas g⁻¹ en semillas de pimiento donde el porcentaje de colonización fue diferente (Bell-Mesa et al., 2017) para

Rhizofagus intraradices, *Funneliformis mosseae* y *Glomus cubense*; los valores fueron 46, 39 y 61,6% respectivamente.

En lo que respecta al contenido de P en frutos de pimiento morrón representado en la Tabla 5, los tratamientos AZ10⁴+G25 y AZ10⁶+G50 combinada con solución nutritiva al 50% incrementaron el porcentaje de P en fruto, el primero tres veces y el segundo 2,3 veces, comparados con el control. La concentración de Nitrógeno (Tabla 5) en los tratamientos con inoculación combinada AZ10⁶+G50 y AZ10⁶+G25 en fruto se incrementó en 98,2 y

Tabla 5. Efecto de los inoculantes microbianos sobre el contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el fruto de pimiento morrón var. Lambourgini.
Table 5. Effect of microbial inoculants on the nitrogen (N) and phosphorus (P) content in the bell pepper fruit var. Lambourgini.

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 bc	1,20 cd
G50	0,30 bc	1,40 cd
AZ10 ⁴ +G25	0,61 a	1,58 bc
AZ10 ⁴ +G50	0,30 bc	1,58 bc
AZ10 ⁶ +G25	0,40 b	1,82 ab
AZ10 ⁶ +G50	0,53 a	2,18 a
Contrastes		
Control vs AZ10 ⁴ +G25	**	**
Control vs AZ10 ⁴ +G50	**	**
Control vs AZ10 ⁶ +G25	**	**
Control vs AZ10 ⁶ +G50	**	**

AZ10⁴, AZ10⁶ son *Azospirillum* sp a concentración de 10⁴ y 10⁶ UFC ml⁻¹; G25 y G50 son *Glomus intraradices* con 25 y 50 esporas respectivamente. Valores seguidos por diferentes letras indican diferencias significativas. Nivel de significancia P = 0,05; Test de Tukey.

65,5% respectivamente en relación con el control. Al realizar los contrastes ortogonales se encontraron diferencias con las dos concentraciones de rizobacterias, la inoculación con G50 y las combinaciones de bacterias y micorrizas lo que provocó una sinergia entre ambos microorganismos. Al respecto, Pellicer *et al.* (2008) establecieron en suelo franco arcilloso el cultivo de pimiento, con estiércol de oveja y gallinaza, y realizaron 5 inoculaciones con rizobacterias *Azotobacter* y *Azospirillum* en concentración de 10^8 UFC

ml^{-1} , sin embargo la concentración de nitrógeno en frutos fue inferior a los valores obtenidos en cultivos con fertilización química.

En las Figura 1 y 2 se muestra que el aumento en la concentración de N en el fruto estuvo asociado linealmente con el rendimiento por planta, pues a medida que aumenta la concentración de este nutrimento en el fruto aumenta el rendimiento por planta. Este mismo efecto se observa con la concentración de P de este mismo órgano.

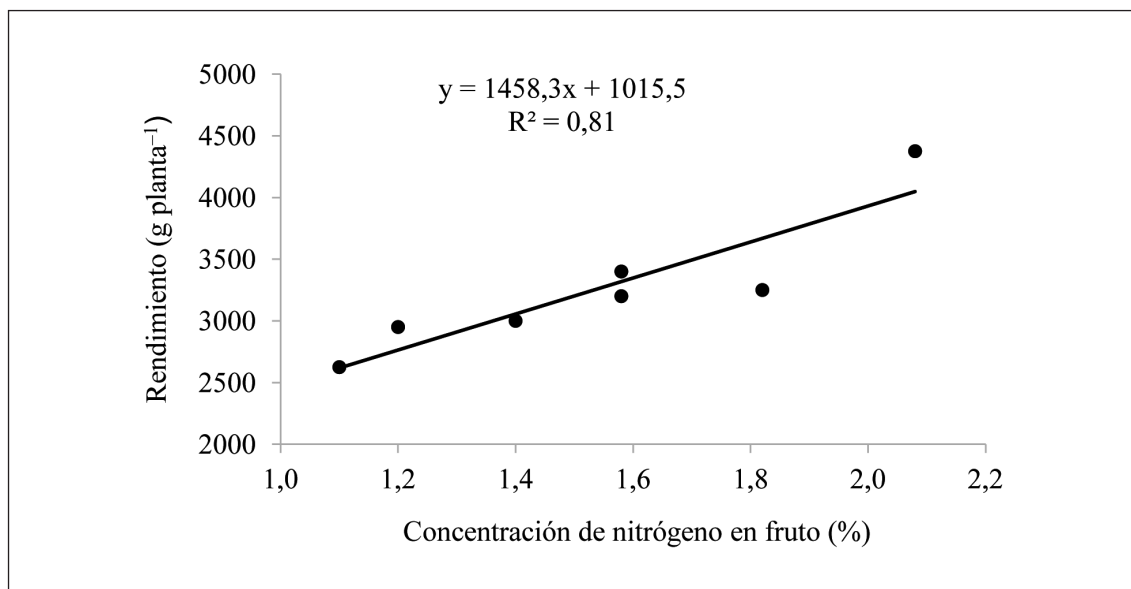


Figura 1. Relación entre el rendimiento y el contenido de N en fruto en el cultivo de pimiento Morrón var. Lambourgini.

Figure 1. Relationship between yield and N content in fruit in the crop of bell pepper var. Lambourgini.

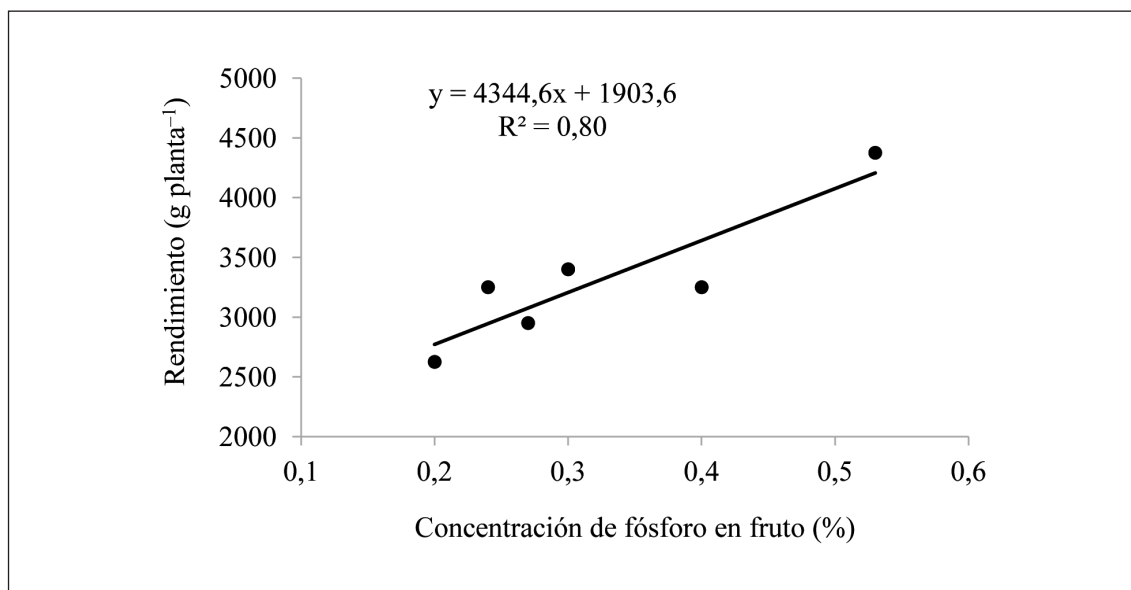


Figura 2. Relación entre el rendimiento y el contenido de P en fruto en el cultivo de pimiento Morrón var. Lambourgini.

Figure 2. Relationship between the yield and the content of P in fruit in the crop of bell pepper var. Lambourgini.

Conclusiones

En las variables agronómicas el pimiento Morrón variedad Lambourgini con la inoculación combinada AZ10⁴+G50 tuvo efectos positivos en altura de planta y diámetro de tallo, peso de fruto y peso de fruto por planta, además, en variables de calidad nutracéutica (SST, IA, vitamina C) también tuvo efecto positivo la inoculación combinada con AZ10⁶+ G25 y G50. En cuanto al contenido mineral, se mostraron efectos positivos, aumentando la cantidad de los minerales analizados (N y P) en ambas concentraciones de inóculo de bacteria y esporas de micorrizas por lo que se puede aplicar ambos inóculos con la reducción en 50% de fertilizantes químicos nitrogenados y fosforados.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de esta investigación.

El primer autor agradece al Programa de posgrado de la Maestría en Ciencias en Horticultura (MCH) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al CONACYT por el apoyo recibido por medio de una beca para realizar estudios de maestría.

Referencias bibliográficas

- Aguirre-Medina JT, Espinoza-Moreno JA (2016). Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorrizas y rizobacterias. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 7(7): 1540-1550.

- Almela L, López-Roca JM, Candela ME, Alcázar MD (1991). Carotenoid composition of new cultivars of red pepper for paprika. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 39: 1606-1609.
- AOAC (1980). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemist* (13th Ed.) Washington, DC, USA p 1000-1050.
- AOAC (1990). *Oficial Methods of Analysis* (15th). Ed. AOAC International Arlington, VA, USA. C/932.12.
- AOAC (2000). *Oficial Methods of Analysis* (17th). Ed. AOAC International. Gaithersburg, MD, USA Association of Analytical Communities. C/630.240 O3/2000.
- Azcón R (2000). Papel de la simbiosis micorrízica y su interacción con otros microorganismos rizosféricos en el crecimiento vegetal y sostenibilidad agrícola. En: *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la micorriza arburcular*. (Eds. Alarcón A, Ferrera-Cerrato R), pp. 1-15. Mundi Prensa México.
- Balemi T, Pal N, Saxena AK (2007). Response of onion (*Allium cepa* L.) to combined application of biological and chemical nitrogenous fertilizers. *Acta Agriculturae Slovenica* 89: 107-114.
- Bell-Mesa TD, Osoria-Galan D, Montero-Limonta G, Molina-Lores LB (2017). Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre pimiento (*Capsicum annuum* L.) en la producción de plántulas en Campo Antena. Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC* 4: 53-67.
- Bremner L, Mulvaney CS (1982). Nitrogen-Total. En: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Second Edition) (Eds. Page AL, Miller RH y Keeney DR), pp. 595-634. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Burns J, Fraser PD, Bramley PM (2003). Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62: 939-947.
- Caballero-Mellado J (2006). Agriculture microbiology and microbe interaction with plants. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48(2): 154-161.
- Castillo C, Sotomayor L, Ortiz C, Leonelli G, Borie F, Rubio R (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(1):79-87.
- Castro SM, Saraiva JA, Domingues FM, Delgadillo I (2011). Effect of mild pressure treatments and thermal blanching on yellow bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *LWT – Food Science and Technology* 44: 363-369.
- De Bashan LE, Holguin G, Glick BR, Bashan Y (2007). Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propósitos agrícolas y ambientales. En: *Microbiología agrícola: hongos, bacteria, micro y macrofauna, Control biológico, Planta-microorganismo*. (Eds. Ferrera-Cerrato, R. y Alarcón, A.), pp. 177-224. Trillas, México.
- Deepa N, Kaur C, Singh B, Kapoor HC (2006). Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 572-578.
- Döbereiner J, Day JM (1976). Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. En: *International Symposium on Nitrogen fixation* (Ed. Newton WE y Nyman CJN), pp. 518-538. Washington State University Press, Pullman, Washington, USA.
- Döbereiner J (1992). The genera *Azospirillum* and *Herbaspirillum*. En: *The prokaryotes. A handbook on the biology of bacteria: ecophysiology, isolation, identification, applications*. Vol III. (Eds. Balows A., Trüper HG, Dworkin M, Harder W y Schleifer KH), p. 2236-2253. Springer-Verlag. New York, USA.
- Domene-Ruiz MA, Segura-Rodríguez M (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo. Ficha de Transferencia* 005: 1-18.
- Finlay RD (2008). Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany* 59(5): 1115-1126.
- García-Olivares JG, Mendoza-Herrera A, 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.

- Prieto A, Sistachs E, Hernández Y (1994). Respuesta del sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* vc sudanesa) a la inoculación con *Azospirillum* spp. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 28(2): 245-250.
- Koltai H, Kapulnik Y (2010). Arbuscular mycorrhizas: physiology and function. Second Edition. Springer, London New York, US. 323 pp.
- Kothari SL, Joshi A, Kachhwaha S., Ochoa-Alejo N (2010). Chilli peppers: A review on tissue culture and transgenesis. Biotechnology Advances 28: 35-48.
- Matsufuji H, Ishikawa K, Nunomura O, Makoto C, Takeda M (2007). Anti-oxidant content of different coloured sweet peppers, white, green, yellow, orange and red (*Capsicum annuum* L.). International Journal of Food Science and Technology 42: 1482-1488.
- Morales-Guzmán J (2013). Evaluación de la producción y calidad de pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv 'Cannon' obtenido mediante biofertilización. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, Querétaro, México. Disponible en: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1276/1/RI000575.pdf> (Consultado: 06 agosto 2016).
- Morales-Ibarra M (2009). Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable. Estudios Agrarios. Procuraduría Agraria. Disponible en línea: http://www.pa.gob.mx/publica/rev_36/Marcel%20Morales%20Ibarra.pdf (Consultado: septiembre 2016).
- Nuncio-Orta G, Mendoza-Villarreal R, Robledo-Torres V, Vázquez-Badillo M, Almaraz-Suárez J.J (2014). Influencia de rizobacterias en la germinación y vigor de semilla de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L var. 'Grande'). ITEA-Información Técnica Económica Agraria 111(1): 18-33.
- Ohtomo R, Saito M (2005). Polyphosphate dynamics in mycorrhizal roots during colonization of an arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytologist 167: 571-578.
- Oseni TO, Shongwe NS, Masarirambi MT (2010). Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. International Journal of Agriculture and Biology 12: 789-792.
- Pellicer A, Pérez A, Rincón L, Abadía A, Sáez J, Saura MA (2008). Balance de agua y nutrientes en un cultivo de pimiento de carne gruesa con fertilización ecológica. VIII Congreso SEAE, IV Congreso Iberoamericano Agroecología, 16-20 septiembre, Bullas, Murcia, España.
- Phillips JM, Hayman DS (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society 55(1): 158-161.
- Ramana-Rao TV, Gol BN, Shah KK (2011). Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae 132: 18-26.
- Requena N, Serrano E, Ocón A, Breuninger M (2007). Plant signals and fungal perceptions during arbuscular mycorrhizal establishment. Phytochemistry 68: 33-40.
- Rodríguez-Burruezo A, Nuez-Viñals F (2006). Mejora de la calidad en el pimiento. En: Mejora de las plantas (Eds. Llacer G, Díez MJ, Carrillo J y Badenes ML), pp. 361-392. Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. España.
- Santillana N, Arellano C, Zúñiga D (2005). Capacidad del *Rhizobium* de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller.). Ecología Aplicada 4(1-2): 47-51.
- Steiner AA (1984). The universal nutrient solution. In: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture, pp. 633-650. 29 abril-5 mayo, Wageningen. The Netherlands.
- Urrestarazu M, Castillo JE, Salas MC (2002). Técnicas culturales y calidad del pimiento. Horticultura 159: 18-26.
- Usuaga C, Castañeda D, Franco A (2008). Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (H.M.A) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (Musaceae). Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 61: 4279-4290.
- Velazco A (2000). Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en el cultivo de la caña de azúcar. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 35(5): 985-994.

(Aceptado para publicación el 29 de octubre de 2018)