

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESPUESTA DEL PEPINO A LA INOCULACIÓN DE *Azospirillum* sp., *Azospirillum*  
*brasiliense* Y *Glomus intraradices* EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

**Tesis**

Que presenta ESTEVAN VÁSQUEZ SANTIAGO

Como requisito para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2016

RESPUESTA DEL PEPINO A LA INOCULACIÓN DE *Azospirillum* sp., *Azospirillum*  
*brasilense* Y *Glomus intraradices* EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

**Tesis**

Elaborada por ESTEVAN VÁSQUEZ SANTIAGO como requisito parcial 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. Valentín Robledo Torres  
Asesor

  
Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar  
Asesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Postgrado UAAAN

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2016

## **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme dado la oportunidad realizar mis estudios en este plantel y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal, por todo su apoyo brindado durante mi estancia en esta Universidad y en la realización de este trabajo.

Al Doctor Valentín Robledo Torres. Por todo su apoyo brindado en el presente trabajo.

Al Doctor Luis Alonso Valdez Aguilar, por su apoyo incondicional brindado en el proyecto de investigación. Por su calidad humana, gracias.

Al Doctor Alberto Sandoval Rangel. Por todo su apoyo brindado en el proyecto de investigación.

A la Ing. Eneida Adilene Pérez Velasco, colaboradora principal del proyecto de investigación, muchas gracias.

A la Ing. Martina de la Cruz Casillas por su constante apoyo en los trabajos realizados en el laboratorio.

## Índice General

	Página
Agradecimientos .....	iii
Índice general .....	iv
Índice de cuadros .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	ix
Introducción .....	1
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
Hipótesis planteada .....	3
Revisión de literatura .....	4
Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas .....	4
Mecanismos directos .....	4
Mecanismos indirectos .....	4
Géneros de BPCV .....	5
<i>Azospirillum</i> .....	5
Respuestas agronómicas con <i>Azospirillum</i> .....	5
Hongos micorrízicos arbusculares .....	6
Taxonomía.....	6
Género <i>Glomus</i> .....	6
Respuestas agronómicas con <i>Glomus</i> .....	6
Vitamina C .....	7
Sólidos solubles totales .....	7
Calidad .....	7
Firmeza.....	7
Materiales y métodos .....	8
Resultados y discusión .....	13
Conclusiones .....	22
Referencias .....	23

## Índice de Cuadros

	Pagina
Cuadro 1. Tratamientos evaluados en experimento de pepino híbrido cv. Centauro inoculadas con <i>Azospirillum brasilense</i> , <i>Azospirillum</i> sp y <i>Glomus intraradices</i> .....	8
Cuadro 2. Prueba de comparación de medias (Tukey, $p<0.05$ ) de la fertilización química y de los inoculantes en las variables agronómicas, a los 45 días después de la siembra en el cultivo de pepino híbrido Centauro. ....	14
Cuadro 3. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables agronómicas rendimiento, altura de planta, peso fresco de tallo, peso seco de tallo, número de frutos a los 120 días después de la siembra en el cultivo de pepino híbrido Centauro. Comparación de medias (Tukey, $P<0.05$ ). ....	16
Cuadro 4. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables agronómicas número de hojas, peso fresco de la hoja, peso seco de la hoja, recuento de ufc de <i>Azospirillum</i> , colonización micorrizica a los 120 días después de la siembra en el cultivo de pepino híbrido Centauro. Comparación de medias (Tukey, $P<0.05$ ). ....	20
Cuadro 5. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables de calidad a los en el cultivo de pepino híbrido Centauro. Comparación de medias (Tukey, $P<0.05$ ). ....	22

## Índice de Figuras

	Pagina
Figura 1. Temperatura mínima y máxima registrada durante el experimento. ....	9
Figura 2. Humedad relativa mínima y máxima presentadas durante el experimento. ....	9

## **RESUMEN**

RESPUESTA DEL PEPINO A LA INOCULACIÓN DE *Azospirillum* sp., *Azospirillum brasilense* Y *Glomus intraradices* EN CONDICIONES DE INVERNADERO.

**POR**

ESTEVAN VÁSQUEZ SANTIAGO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL – ASESOR

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2016

## Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto del hongo micorrizico arbuscular (HMA) *Glomus intraradices* y de las bacterias promotoras de crecimiento de las plantas (BPCP) y) sobre el rendimiento y la calidad del fruto de las plantas de pepino (*Cucumis sativus*). La investigación se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México de abril a julio de 2016. En el estudio se usaron 30 esporas de *Glomus intraradices* (GI),  $5 \times 10^8$  UFC/ml de *Azospirillum brasilense* (AB) y  $3 \times 10^8$  UFC/ml de *Azospirillum* sp (AS). Estos inoculantes se aplicaron a las plantas crecidas en sustrato peatmos-perlita (4:1) y nutridas con dos soluciones nutritivas (concentraciones de 75 y 100%) de la formulación propuesta por A. A. Steiner 1984. Las aplicaciones de los simbioses se realizaron a los 30, 45 y 60 días después de la siembra (DDS). Con la inoculación de las plantas se encontraron efectos estadísticos ( $p \leq 0.01$ ) en las variables altura, número de hojas, flores, diámetro de tallo a los 45 días después de la siembra (DDS), los valores más altos se registraron en las plantas inoculadas en comparación con las plantas testigo. De acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey,  $p \leq 0.05$ , con la inoculación de *Azospirillum* sp más *Glomus intraradices* el rendimiento se incrementó en un 30% respecto al testigo. Y La inoculación de *Azospirillum* sp incrementó la firmeza. Se concluye que la aplicación de micorriza y rizobacterias tienen un potencial para ser empleadas en la producción sustentable del cultivo de pepino.

**Palabras clave:** *Cucumis sativus*, solución Steiner, rendimiento.

**ABSTRACT**

RESPONSE OF CUCUMBER CROP TO INOCULATION WITH *Azospirillum* sp.,  
*Azospirillum brasilense* AND *Glomus intraradices* UNDER GREENHOUSE  
CONDITIONS

**BY**

ESTEVAN VÁSQUEZ SANTIAGO  
MASTER OF SCIENSE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DRA. ROSALINDA MENDOZA VILLARREAL – ADVISOR

Saltillo, Coahuila

December 2016

## Abstract

The use of biofertilizers is a potential technology to increase plant yield without affecting the environment. The aim of this study was to evaluate the effect of the mycorrhiza *Glomus intraradices* (GI), and of the rhizobacteria *Azospirillum sp* (AS) and *Azospirillum brasilense* (AB), and the co-inoculation of these microorganisms, in the agronomic variables of cucumber. This work was carried out in the greenhouse of the Antonio Narro Agrarian Autonomous University in 2016. The plants were cultivated in peat moss-perlite substrate (4:1, v / v) with 75 % and 100 % Steiner universal nutrient solution (SNUS). With the inoculation of the plants, statistical effects ( $P \leq 0.01$ ) were found in height, number of leaves, flowers, and stem diameter at 45 days after sowing (DAS), the highest values were recorded in the inoculated plants compared to the control plants. The plants inoculated with GI and the co-inoculated show higher values than control treatment in yield (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Inoculation with *Azospirillum sp* plus *Glomus intraradices* increased the yield by 30% with respect to the control treatment. Plants inoculated with *Azospirillum sp* increased the fruit firmness. It is concluded that the application of mycorrhiza and rhizobacteria have a potential to be used in the sustainable production of the cucumber crop.

**Key words:** *Cucumis sativus*, Steiner solution and yield.

## INTRODUCCIÓN

El pepino (*Cucumis sativus*) es de gran importancia para México y el mundo. En nuestro país, el pepino es una de las principales hortalizas para exportación. En el 2014 el volumen de la producción fue de 708 mil toneladas, siendo Sinaloa, Michoacán y Sonora los principales estados productores y el valor de las exportaciones en ese mismo año fue de 222,308.6 miles de dólares (SIAP, 2015). Es una hortaliza que se produce a nivel mundial (Wang *et al.*, 2013) y comúnmente se cultiva bajo condiciones de invernadero (Sabir y Singh, 2013).

Se estima que para el 2020 la población mundial será de 8 billones, por lo que surge la necesidad de hacer cambios en la agricultura para poder incrementar el rendimiento de los cultivos y así poder alimentar a toda esta población (Gamalero y Glick., 2011). Al mismo tiempo, se requiere de prácticas de producción que no contaminen durante el proceso de producción en el campo o invernadero para poder obtener alimentos de calidad, (Zdravković *et al.*, 2015).

Para la producción de hortalizas se requiere de grandes cantidades de fertilizantes sintéticos para lograr altos rendimientos, lo que incrementa la inversión que realizan los productores del campo. Pues, actualmente los altos costos de los fertilizantes químicos son los principales problemas que se presentan en la agricultura. Además, el uso excesivo de la fertilización química puede causar contaminación ambiental, por los minerales que se lixivian hacia el manto freático. Por este motivo, se hace necesario incorporar tecnologías que permitan reducir el uso de los fertilizantes sintéticos y en consecuencia reducir los costos en la producción hortícola.

En la actualidad, el uso de los biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y/o bacterias promotoras de crecimiento de las plantas (BPCV) tienen importancia económica y ecológica en la producción agrícola (Díaz *et al.*, 2015). Los biofertilizantes pueden elevar la productividad ya que son de bajo costo comparado con los fertilizantes químicos y tienen la ventaja de no contaminar al ambiente (Srinivasan *et al.*, 2014). Y son de gran aceptación por todo el mundo por los beneficios que proporcionan, además en las últimas dos décadas el uso de las BPCV ha ido incrementando considerablemente en muchas partes del mundo (Figueiredo *et al.*,

2010). Además de lo económico y biológico, que resultan ser los inoculantes microbianos. Estos pueden usarse en los sistemas agrícolas sostenibles (Díaz *et al.*, 2015).

Además del rendimiento de las plantas, otro factor que se considera en el proceso de producción es la calidad del producto, por lo que se ha definido varios indicadores de la calidad. Uno de los parámetros más importantes de calidad de los productos agrícolas son las propiedades mecánicas (Jahangir *et al.*, 2016). Por lo que es un factor importante a considerar en el proceso de producción. En pepino (Shimomura *et al.*, 2016) afirman que la firmeza y la forma son los parámetros de calidad más importante en el pepino, porque des éstas se derivan el precio de producto en el mercado.

Kaymak (2010) menciona que las BPCV como *Azospirillum* incrementan el rendimiento de los cultivos por la fijación de nitrógeno, secreción de hormonas reguladoras de crecimiento como las auxinas, giberelinas, citocininas, y por el incremento de la absorción de fósforo. Del mismo modo, la simbiosis entre HMA con la planta incrementa la absorción de minerales como fósforo, zinc y cobre (Ortas, 2010). Asimismo, los HMA ayudan a la absorción de nitrógeno (Hodge and Storer 2015). Las micorrizas y las rizobacterias han sido sugeridos para usarlos en la agricultura para reducir la fertilización química (Bona y Todes, 2016). Bajo este contexto, se formularon propuestas de investigación que tienen por objetivos e hipótesis que se enuncian a continuación:

### **Objetivo general**

Determinar el efecto de las rizobacterias *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum* sp y *Glomus intraradices* en las variables agronómicas y de calidad del fruto de pepino (*Cucumis sativus*).

### **Objetivos específicos:**

- 1) Determinar el rendimiento del pepino con la aplicación de *Azospirillum* sp, *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* en condiciones de invernadero.
- 2) Evaluar el efecto de las BPCV *Azospirillum* sp, *Azospirillum brasilense* y de la micorriza arbuscular *Glomus intraradices* en la firmeza, diámetro polar y ecuatorial del fruto de pepino.

### **Hipótesis planteada**

Con la aplicación de las rizobacterias y micorrizas se logrará incrementar el rendimiento y calidad del fruto de pepino.

## REVISIÓN DE LITERATURA

El pepino es una de las hortalizas que a menudo sufre de estrés por sequía u otros factores ambientales durante su desarrollo lo que provoca una reducción en la calidad y en el rendimiento del cultivo (Wang *et al.*, 2013), se sabe el estrés hídrico afecta a la nitrato reductasa, enzima que participa en la asimilación del nitrato (Kohler *et al.*, 2008). Las BPCV tienen la capacidad de producir enzimas antioxidantes y así evitar el daño oxidativo producidos bajo las condiciones de estrés hídrico. Además, incrementar la acumulación de prolina (Kohler *et al.*, 2008).

### **Bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (BPCV).**

Las bacterias que son capaces de incrementar el crecimiento de las plantas son conocidas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), y tienen importancia económica y ecológica en la producción agrícola (Díaz *et al.*, 2015). Han sido usadas por décadas para la producción de cultivos (Hayat *et al.*, 2010). Las BPCV de acuerdo a Ahamd *et al.* (2015) argumentan que se hace más eficiente el uso de los fertilizantes químicos al colonizar la rizosfera. Estas bacterias, pueden localizarse en la rizosfera o entre los espacios celulares del cortex de la raíz (Bhattacharyya y Jha., 2012). Las bacterias que pueden degradar el 1-aminociclopropano-1- ácido carboxílico, tienen la ventaja de utilizarlo como fuente de carbono (Van, 2007).

Por los mecanismos que presentan las BPCV pueden ser considerados como fitoestimuladores o biopesticidas (Bhattacharyya y jha., 2012).

El crecimiento y desarrollo de las plantas por las BPCV, es debido principalmente a dos diferentes mecanismos:

a) **Mecanismos directos.** Fijación de nitrógeno (Kaymak, 2010; Fibach *et al.* 2012;), solubilización de fósforo (Bhattacharyya y jha., 2012) y Producción de hormonas reguladoras de crecimiento de las plantas (Hayat *et al.*, 2010), óxido nítrico y sideróforos que secuestran al hierro (Cassan *et al.*, 2014).

b) **Mecanismos indirectos.** Producción de ácido cianhídrico (HCN) o bien la producción de quitinas,  $\beta$ -1,3- glucanasa, que degradan las paredes celulares de los hongos (Vessey, 2003; Hayat *et al.*, 2010). Y producción de la enzima 1-

aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminasa, que elimina el efecto del etileno vía enzima ACC deaminasa, ya que en altas concentraciones el etileno provoca defoliación ya que reducen el desarrollo de los cultivos (Bhattacharyya y jha, 2012).

### **Géneros de BPCV**

Las BPCV incluyen varios géneros, entre los que destacan *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, entre otras (Kaymak, 2011).

### ***Azospirillum***

*Azospirillum* es una de las bacterias más estudiadas dentro de las BPCV (Pereg *et al.*, 2016). Las investigaciones con *Azospirillum* iniciaron desde la década de los 70s del siglo pasado (Hartman *et al.*, 2009), si bien, en un inicio los estudios con *Azospirillum* se realizaron en cereales, actualmente se sabe que este género incrementa el crecimiento de 113 especies de plantas (Pereg *et al.*, 2016). Orta *et al.* (2015) reportan que la cepa *Azospirillum* sp. AzTT2 tiene la capacidad de producir  $106,06 \mu\text{g mL}^{-1}$  de ácido indol acético, fitohormona responsable de promover el crecimiento de las plantas. Además producen citocininas y giberelinas fitohormonas que estimulan el desarrollo de las raíces (Van, 2007).

### **Respuestas agronómicas con *Azospirillum***

Bajehbaj *et al.* (2010) realizaron estudios en plantas de girasol y observaron que si a la fertilización nitrogenada se complementa con *Azospirillum* a concentración de  $2 \times 10^7$  células/g se reduce el uso de la fertilización nitrogenada y se incrementa el rendimiento de grano.

Otra cualidad de las BPCV que las hace importantes es que estas pueden disminuir el número de enfermedades de la planta o bien reducir la severidad de las enfermedades (Van, 2007) y por consiguiente incrementar el rendimiento de los cultivos.

Se ha demostrado resultados positivos al aplicar *Azospirillum* en cultivos agrícolas como maíz, trigo, caña de azúcar y en arroz (Okumura *et al.*, 2013).

### **Hongos micorrízicos arbusculares**

Estos hongos interactúan con la planta por medio de las hifas, arbusculos y vesículas (Al-Hmoud y Al-Momany, 2015), forman simbiosis con la mayoría de las plantas vasculares (Srinivasan *et al.*, 2014).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se presentan entre los hongos y las plantas, estas, dispersan su micelio afuera de las raíces para poder acceder a los minerales y agua del suelo (Mosa *et al.*, 2014). Por lo que incrementan el volumen del suelo explorado, lo que a su vez permite la absorción de nutrientes menos móviles como el cobre y fósforo (Labidi *et al.*, 2012).

Los hongos micorrízicos liberan enzimas como las fosfatasas que liberan el fósforo orgánico del suelo (Marnschner y Dell, 1994). El uso de estos simbioses en la agricultura sostenible se debe a la capacidad de estos para formar simbiosis con la mayoría de las plantas superiores (Srinivasan *et al.*, 2014).

**Taxonomía.** En la actualidad se reconocen 214 especies de hongos micorrizicos arbusculares (HMA), 19 generos, 13 familias, 4 órdenes y una clase (Run *et al.*, 2009). Especies que se encuentran en el phylum Glomeromycota (Redecker *et al.*, 2013).

Los HMA se agrupan en tres grupos: las ectomicorrizas, las micorrizas ericoides y las micorrizas arbusculares (Marnschner y Dell 1994). Son simbioses obligados dependientes del carbono de las plantas para su energía (Veresoglou *et al.*, 2014).

**Genero *Glomus*.** Se presume que *Glomus* spp ha sido el más estudiado de los hongos micorrizicos arbusculares (Avis *et al.*, 2008).

### **Respuestas agronómicas con *Glomus***

Estudios realizados en diferentes cultivos han demostrado efectos positivos de los hongos micorrízicos arbusculares en las plantas. En estudios realizados por Conversa *et al.* (2012) en plantas de tomate se observó que las plantas inoculadas con *Glomus intraradices* incrementaron el rendimiento. En otro estudio hecho por Dasgan *et al.* (2008) mencionan que la inoculación con *Glomus musaceae* incrementó el rendimiento en plantas de tomate en cultivo sin suelo. Además, Subramanian *et al.* (2014) observaron que *Glomus intraradices* incrementó el rendimiento de grano en plantas de maíz. La

coinoculación de los HMA y las BPCP han demostrado efectos positivos en plantas de sorgo, tal como lo señala Diaz *et al.* (2015) estos autores mencionan que las plantas inoculada superaron a las plantas testigo en altura y diámetro de tallo.

### **Vitamina c (ácido ascórbico)**

La vitamina C, forma parte del sistema antioxidante de las plantas, tiene una función importante en la senescencia y en la maduración del fruto (Sharma y Rao 2013). Los antioxidantes en las plantas tienen gran importancia para contrarrestar los efectos del estrés que se presentan en las plantas.

### **Sólidos solubles totales**

Hay varias formas para cuantificar el contenido de azúcar en los frutos y varios factores que intervienen en el contenido de estos en el fruto, la radiación solar, el tiempo de cosecha o estado de maduración del fruto son los factores que intervienen en la dulzura del fruto, una de los métodos para medir el contenido de azúcares es el uso del índice de refractómetro, que mide el contenido de sólidos solubles disueltos en una solución (Beckles, 2012).

### **Calidad**

La calidad de los frutos agrícolas está dada por la apariencia del fruto, composición nutricional, sabor, textura, que no estén contaminados por organismos microbiológicos, productos químicos (Shimomura *et al.*, 2016). La firmeza el color y el tamaño son factores que determinan el precio del producto en el mercado. La forma del fruto y su textura, como la firmeza, son los principales indicadores del precio del producto en el mercado (Dhall *et al.*, 2012).

### **Firmeza**

Uno de los atributos del pepino para la valoración la calidad es la firmeza (Meng *et al.*, 2014). Por lo tanto, en un sistema de producción de pepino se tiene que balancear la calidad y el rendimiento del fruto y así para la obtención de mejores ingresos (Gomez *et al.*, 2006).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se realizó en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coah., México de abril a julio de 2016. Se midió la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero durante el experimento, con un termohigrómetro marca Taylor. La temperatura mínima fue de 15.5 °C y la máxima fue de 32.5 °C. La humedad relativa mínima y máxima fue de 29.5 y 74.4% respectivamente. La fluctuación de la temperatura y humedad durante el experimento se presenta en la figura 1 y 2, respectivamente.

### Establecimiento del cultivo

Se realizó una siembra directa con semillas de pepino híbrido cv. Centauro (Fito) en bolsas de plástico de color negro de 10 L con mezcla de sustrato de peat moss y perlita en una proporción de (4:1, v:v). La distancia entre plantas fue de 0.3 m y el espacio entre bloques de 1.0 m. Los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en experimento de pepino híbrido cv. Centauro inoculadas con *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum* sp. y *Glomus intraradices*.

Tratamientos	Solución Steiner (%)	Inoculantes
1	75	Sin inoculante
2	75	<i>Azospirillum brasilense</i> (AB)
3	75	<i>Azospirillum</i> sp. (AS)
4	75	<i>Glomus intraradices</i> (GI)
5	75	AB y GI
6	75	AS y GI
7	100	Sin inoculante
8	100	<i>Azospirillum brasilense</i> (AB)
9	100	<i>Azospirillum</i> sp. (AS)
10	100	<i>Glomus intraradices</i> (GI)
11	100	AB y GI
12	100	AS y GI

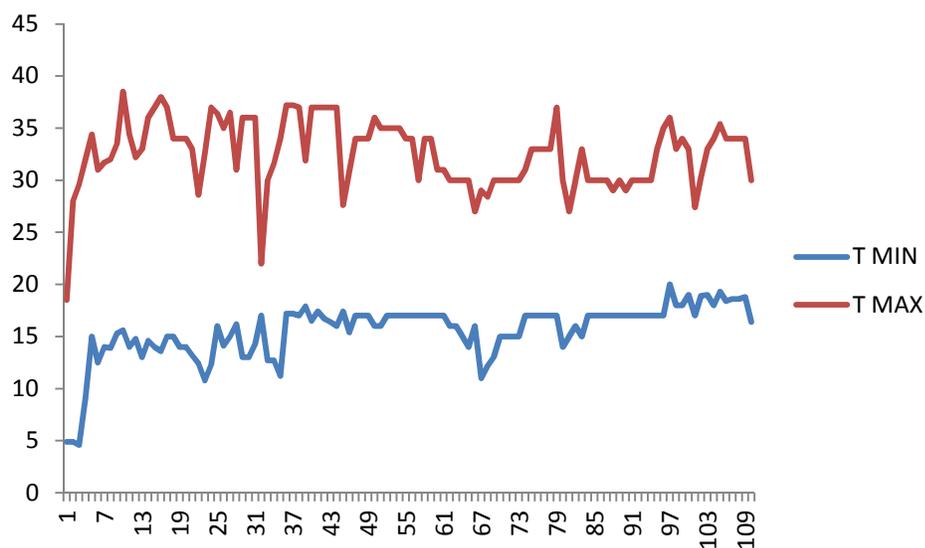


Figura 1. Temperatura mínima y máxima registrada durante el experimento.

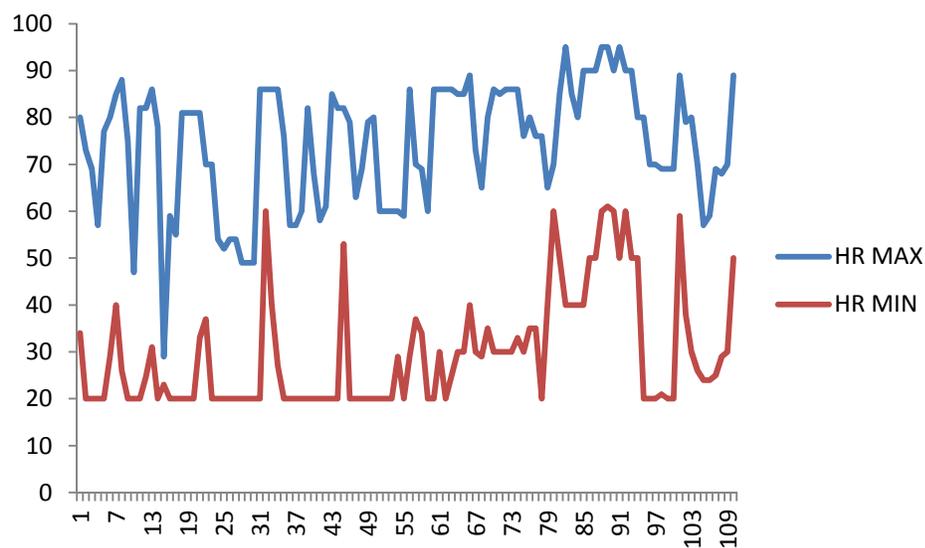


Figura 2. Humedad relativa mínima y máxima presentadas durante el experimento.

### Inoculación de las plantas

La inoculación de las plantas se realizó a los 15, 30 y 45 días después de la siembra (DDS), aplicando  $5 \times 10^8$  UFC/ml de *Azospirillum brasilense* por planta. Para los tratamientos con *Azospirillum* sp. se aplicó  $3 \times 10^8$  UFC/ml de esta bacteria, y para los

tratamientos con *Glomus intraradices* se aplicaron 30 esporas de esta micorriza por planta.

### **Nutrición del cultivo**

Para la nutrición de las plantas se utilizó la solución nutritiva Steiner (1984),  $N=12 \text{ meq.L}^{-1}$ ,  $P=1 \text{ meq.L}^{-1}$ ,  $K=7 \text{ meq.L}^{-1}$ ,  $Ca=9 \text{ meq.L}^{-1}$ ,  $Mg=4 \text{ meq.L}^{-1}$ ,  $S=7 \text{ meq.L}^{-1}$ ) en dos diferentes concentraciones (75% y 100%) los micronutrientes se agregaron utilizando un complejo de micronutrientes quelatados. Los tratamientos del 1 al 6 se regaron con la solución nutritiva al 75 %, mientras que para los tratamientos 7 al 12 se usó la solución nutritiva al 100 % (Cuadro 1). El pH de la solución nutritiva se ajustó de 6.3-6.5 con ácido nítrico y ácido sulfúrico.

### **Variables agronómicas evaluadas**

Se hicieron dos evaluaciones durante el experimento. La primera se realizó a los 45 DDS en la que se midió la altura, número de hojas y frutos. La altura se midió desde la base del tallo hasta el brote apical. Para el registro de número de hojas de la primera y segunda evaluación se contaron las hojas completamente expandidas. Para la estimación del número de frutos a los 45 DDS, se registraron número de flores. Mientras que para la segunda evaluación a los 120 DDS se contaron solamente los frutos completamente desarrollados (frutos cosechados). Para la determinación del peso fresco de hoja, tallo y fruto, se extrajo la planta del contenedor y se pesó por separado cada órgano con una balanza Ohaus CSseries. Posteriormente estos órganos se introdujeron a una estufa de secado HDP-334 a 60° C hasta alcanzar peso constante, para medir el peso de la materia seca se utilizó una balanza digital HR-200.

### **Variables de calidad evaluadas**

Las variables evaluadas en el fruto fueron: firmeza del fruto (FF), vitamina C del fruto (VCF), sólidos solubles totales del fruto (SSTF), diámetro polar (DPF) y diámetro ecuatorial del fruto (DEF). Estas valoraciones se realizaron inmediatamente después del corte del fruto. La firmeza del fruto se determinó con un penetrómetro modelo FT-327 con puntilla de ocho mm, después de eliminar la estructura externa del fruto (aprox.

3mm de grosor), y los valores de la firmeza del fruto se registraron en Kg/cm<sup>2</sup> Para la estimación del contenido de sólidos solubles totales se colocaron gotas del jugo del fruto en el lector del refractómetro digital (HI 96801) y las lecturas se registraron en °Brix. El contenido de vitamina C se estimó en el segundo corte, por el método de 2,6 dicloroindolfenol (A.O.A.C., 1980), para la estimación del diámetro polar se usó una cinta métrica y para el diámetro ecuatorial del fruto se usó un vernier electrónico (DIGITAL CALIPER).

### **Estimación del porcentaje de micorrización**

Para la determinación del porcentaje de micorrización, las raíces se lavaron con agua para remover el sustrato adherido y después se clarearon con KOH al 10% posteriormente se tiñeron con azul de tripano de acuerdo con la metodología de Phillips y Hayman. (1970). El porcentaje de estructuras fúngicas se determinó a partir de las raíces tenidas. Se cortaron las raíces en segmentos de 1 cm de longitud y se colocaron 20 segmentos con 3 repeticiones en portaobjetos para su observación microscópica a 40x. El porcentaje de colonización micorrízica se determinó dividiendo el número de segmentos colonizados entre el número de segmentos observados multiplicados por 100 (Sieverding, 1983).

### **Recuento de *Azospirillum***

El recuento de *Azospirillum* sp y *Azospirillum brasilense* se realizó a los 120 DDS. Se extrajeron las raíces y se lavaron con agua para eliminar el sustrato adherido. Después, las raíces se desinfectaron con alcohol y por último con agua destilada. Las raíces desinfectadas se colocaron en tubos de ensaye que contenía cloruro de sodio al 0.085 % incubándolo a una temperatura a 30 ° C por 48 h. Después de este tiempo, se tomó un ml de la solución salina para diluirlo en 9 ml del medio semisólido de NFB (Dobereiner and Day, 1976) incubándolo por 24 h a una temperatura de 30° C. del medio semilíquido se tomó un ml para hacer diluciones sucesivas hasta 10<sup>12</sup> UFC/ml, de las cuales se tomaron alícuotas para sembrarlas en cajas Petri conteniendo medio sólido de NFB-azul de bromotimol. 24 horas después se realizó el recuento de las UFC/ml.

**Diseño y análisis estadístico**

Se utilizó un diseño experimental factorial 2\*6, dos niveles de nutrición (SNUS 75% y SNUS 100%) por seis niveles de inoculación (AB, AN, GI, AB con GI, AN con GI y un testigo) en bloques completamente al azar. Tres repeticiones por tratamiento y dos plantas por unidad experimental. El análisis de varianza y la prueba del rango múltiple de Tukey ( $p < 0.05$ ) se estimó con el programa SAS 9.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de las variables agronómicas a los 45 DDS

En la primera evaluación, el análisis de varianza mostró efecto significativo para los inoculantes en altura de plantas, número de hojas, número de flores y diámetro de tallo a los 45 DDS (Cuadro 2). Para el factor solución nutritiva y la interacción no se detectaron efectos significativos (Cuadro 2).

**Altura de plantas.** Los mejores resultados para la altura de plantas se obtuvieron con la inoculación del HMA *Glomus intraradices* solo o acompañado con la BPCV *Azospirillum* sp (Cuadro 2). Con la aplicación de *Glomus intraradices*, la altura de plantas incrementó en un 25 % respecto al testigo y con la coinoculación de *Glomus intraradices* más *Azospirillum* sp en un 20%. No se encontraron diferencias significativas con las inoculaciones simples con *Azospirillum* sp o *Azospirillum brasilense*. Asimismo, la coinoculación entre *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* no superaron significativamente al testigo.

**Número de hojas.** El número de hojas se incrementó en un 15% con la inoculación del HMA, la inoculación simple con las rizobacterias o con la inoculación combinada con la micorriza no mostraron diferencia significativa (Cuadro 2).

**Número de flores.** Para el número de flores el mejor inoculante siguió siendo el HMA (Cuadro 2), pues con la inoculación de este simbionte el número de flores se incrementó hasta en un 24 % respecto al testigo. Las inoculaciones y coinoculaciones con micorriza y rizobacterias no mostraron diferencia estadística en el número de flores (Cuadro 2).

**Diámetro de tallo.** El diámetro de tallo incrementó con la aplicación de los inoculantes, se observaron diferencias significativas entre los inoculantes y el testigo, excepto con *Azospirillum brasilense* que fue estadísticamente igual al testigo. Las aplicaciones individuales de *Azospirillum* sp y *Glomus intraradices* incrementó en un 7% el diámetro de tallo, mientras que la inoculación conjunta entre estos incrementó el 10 %, respecto al

testigo. *A. brasilense* solo el diámetro del tallo cuando se aplicó conjuntamente con *Glomus intraradices* en un 5 % respecto al testigo.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias (Tukey,  $p < 0.05$ ) de la fertilización química y de los inoculantes en las variables agronómicas, a los 45 días después de la siembra en el cultivo de pepino híbrido Centauro.

<b>Factores</b>	ALT (cm)	NH	NF	DDT (mm)
<b>Solución nutritiva (SN)</b>				
SNUS 75%	45.34	8.39	6.72	10.58
SNUS 100 %	43.83	8.56	7.06	10.45
<b>Inoculante (I)</b>				
Sin inoculante	37.25 b	7.83 b	5.8 b	9.93 c
AB	45.25 ab	8.50 ab	7 ab	10.28 bc
AS	45.45 ab	8.50 ab	7 ab	10.70 ab
GI	49.91 a	9.17 a	7.67 a	10.70 ab
AB más GI	43 ab	8.50 ab	7 ab	10.45 b
AS más GI	46.67 a	8.33 ab	6.83 ab	11.02 a
SN * I	$p < 0.10$	$p < 0.15$	$p < 0.27$	$p < 0.15$

En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes en  $p < 0.05$ . Donde: ALT = altura, NH = número de hojas, NF = número de flores, DDT = diámetro de tallo, AB = *Azospirillum brasilense*, AS = *Azospirillum* sp., GI = *Glomus intraradices*.

Babaj *et al.* (2014), registraron una mayor altura y mayor número de hojas en las plantas de pepino inoculadas con *Glomus* spp que las plantas testigo. Resultados similares encontraron Mangman *et al.* (2015) en la altura, numero de hojas diámetro de tallo en plántulas de tomate al inocular *Azospirillum brasilense* cepa sp7. Sarwade *et al.* (2011) observaron que con la coinoculación de *Glomus fasciculatum* y *Tricoderma* se incrementó el diámetro de tallo, numero de hojas de chile (*Capsicum annum*). Diaz *et al.* (2015) al inocular hongos micorrizicos arbusculares y rizobacterias en plantas de sorgo obtuvieron valores mayores en la altura y diámetro de tallo. El incremento en el

crecimiento de las plantas está relacionada por la producción de fitohormonas como auxinas, citocininas y giberelinas (Van, 2007; Hayat *et al.*, 2010). *Azospirillum* tiene la capacidad de producir auxinas, fitohormona que promueve el crecimiento de las plantas (Fibach *et al.*, 2012). Al igual que las rizobacterias los hongos micorrizicos tiene la capacidad de mejorar la absorción de nutrientes. Las micorrizas arbusculares realizan un transporte eficiente del fósforo (Krajinski *et al.*, 2014), mejoran la absorción de cobre y zinc (Ortas, 2010), ayudan a la absorción de nitrógeno (Hodge y Storer, 2015).

### **Evaluación de las variables agronómicas a los 120 DDS**

#### **Rendimiento**

El análisis de varianza para el rendimiento, mostró que no fue afectado significativamente por la concentración de la solución nutritiva, ni hubo efecto de interacción entre factores (Cuadro 3). Al realizar la comparación de medias se observó que la coinoculación del HMA *Glomus intraradices* más la rizobacteria *Azospirillum* sp. incrementaron el rendimiento de las plantas hasta un 30% respecto al testigo, mientras que la inoculación con el HMA más *A. brasilense* en un 24%. Con la inoculación individual del HMA el incremento del rendimiento fue del 27%. La sola inoculación con *A. brasilense* o *Azospirillum* sp. el aumento en la producción fue de 12% y 19 %, respectivamente. La solución nutritiva al 75% y al 100% no tuvo un efecto significativo sobre el rendimiento. Saeed *et al.* (2015) obtuvieron mayor rendimiento en las plantas de pepino que fueron biofertilizadas. En otro estudio realizado por Ortas (2010) demostró que con la aplicación de *Glomus etunicatum* y *Glomus mosseae* se obtuvo el mayor rendimiento en plantas de pepino. Dasgan *et al.* (2008) reportan incrementos en el rendimiento de plantas de tomate en cultivo sin suelo por efecto de *Glomus fasciculatum*. Roupheal *et al.* (2010) consideran que el alto rendimiento de las plantas inoculadas con la micorriza arbuscular se debe a la mayor capacidad fotosintética que estas plantas presentan. Los efectos positivos las rizobacterias pueden atribuirse a la capacidad de estas para la fijación de nitrógeno, promoción del crecimiento y en la mejor absorción de nutrientes. Asimismo, la simbiosis entre la micorriza y la planta mejora la absorción de minerales como fósforo, zinc y cobre (Ortas, 2010).

Cuadro 3. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables agronómicas rendimiento, altura de planta, peso fresco de tallo, peso seco de tallo, número de frutos a los 120 días después de la siembra en el cultivo de pepino híbrido Centauro. Comparación de medias (Tukey,  $P < 0.05$ ).

<b>Factores</b>	<b>REND</b>	<b>ALT</b>	<b>PFT</b>	<b>PST</b>	<b>NFR</b>
	(Kg/P)	(cm)	(Kg)	(g)	
<b>SN</b>					
SNUS 75%	4.13	384 a	0.24 a	24.78 a	11.06
SNUS 100 %	3.89	361 b	0.21 b	22.14 b	10.11
<b>Inoculante (I)</b>					
SI	3.21 b	378	0.22	24.09	9.33 ab
AB	3.65 ab	380	0.23	25.5	11.33 ab
AS	3.97 ab	389	0.24	24.16	11.17 ab
GI	4.39 ab	349	0.21	21.68	12.33 a
AB más GI	4.20 ab	371	0.24	23.76	9 b
AS más GI	4.64 a	368	0.21	21.57	10.33 ab
SN * I	$p < 0.15$	$p < 0.91$	$p < 0.30$	$p < 0.11$	$p < 0.30$

Dónde: REND= rendimiento, P = planta, ALT = altura, PFT= peso fresco de tallo, PST= peso seco de tallo, NFR= número de frutos, SN= Solución nutritiva. AB = *Azospirillum brasilense*, AS = *Azospirillum* sp., GI = *Glomus intraradices*. En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes en  $p < 0.05$ .

### **Altura, peso fresco y seco del tallo, y número de frutos.**

La altura, el peso fresco y seco del tallo de las plantas fue afectado significativamente por la concentración de la solución nutritiva. Sin embargo, el número de hojas, peso fresco y seco de la hoja no fueron afectadas significativamente por la solución nutritiva, ni por los inoculantes (Cuadro 4). Castañeda *et al.* (2013) mencionan que la altura de plantas de fresa no se incrementó significativamente por la aplicación de *Azospirillum*. Reyes *et al.* (2014) no encontraron diferencia estadística por la aplicación de *Azospirillum brasilense*, *Rhizophagus irregularis* y *Pseudomonas* sp. en la biomasa seca del tallo y hoja en chile habanero (*Capsicum chinense*).

### **Numero de frutos**

El mayor número de frutos se registró en las plantas que fueron inoculadas, excepto en las plantas que fueron coinoculadas con *Glomus intraradices* más *Azospirillum brasilense*. Dursun *et al.* (2010) demostraron que el mayor número de frutos de las plantas de tomate se obtuvo en plantas inoculadas con las BPCV *Bacillus*, *Acinetobacter*, y *Pantonea* que las plantas testigo. En otro estudio realizado por Gul *et al.* (2013) observaron que plantas de pepino inoculadas con las rizobacterias *Pseudomonas putida* y *Serratia marcescens*, incrementaron el número de fruto y por consiguiente el rendimiento. En forma general, las plantas inoculadas mostraron mayor número de frutos.

### **Colonización micorrizica**

La colonización micorrizica en las plantas inoculadas con el HMA fue de 33%, mientras que las plantas que testigo fue del 4%. En plantas de tomate inoculadas con *Glomus fasciculatum* crecidas en cultivo sin suelo (Dasgan *et al.* 2008) registraron una colonización micorrizica de 28% y 0% en las plantas testigo. Estos resultados son similares aunque en las plantas testigo de este estudio si presentaron colonización micorrizica. Este resultado pudo deberse a que en el área de estudio se establecieron cultivos con suelo. La mayor colonización micorrizica se presentó en la inoculación dual, *Glomus* más *Azospirillum* sp. Resultados similares obtuvo Sarwade *et al.* (2011), quienes observaron mayor colonización micorrizica en plantas de chile (*Capsicum*

*anuum* var. Jwala) coinoculadas con especies de *Trichoderma* más *Glomus fasciculatum*. En pepino (Rouphael y cardereli, 2010) reportan que la colonización micorrizica varía entre variedades de pepino, estos autores registraron valores de 12.7% hasta de 21.8% de porcentaje de colonización micorrizica.

Cuadro 4. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables agronómicas número de hojas, peso fresco de la hoja, peso seco de la hoja, recuento de ufc de *Azospirillum*, colonización micorrizica a los 120 días después de la siembra en el cultivo de pepino hibrido Centauro. Comparación de medias (Tukey, P<0.05).

<b>Factores</b>	NH	PFH (g)	PSH (g)	Recuento de UFC/ml		Colonización micorrizica (%)
<b>SN</b>						
SNUS 75%	34.22	0.42	54.05	21527786		19.0
SNUS 100 %	34.16	0.40	49.62	20388889		19.3
<b>Inoculante (I)</b>						
SI	35.33	0.43	50.76	0	d	4.1 c
AB	33.5	0.42	54.76	32875000	b	3.0 c
AS	33.83	0.39	52.79	33916667	b	3.6 c
GI	33.5	0.39	52.94	24	d	33.0 b
AB más GI	33.33	0.43	51.08	43333333	a	32.5 b
AS más GI	35.67	0.39	48.69	15625000	c	38.0 a
SN * I	<i>p</i> <0.43	<i>p</i> <0.27	<i>p</i> <0.46	P<0.00		P<0.00

Dónde: PFH=peso fresco de las hojas, PSH=peso seco de las hojas, NH= número de hojas, SN= Solución nutritiva. AB = *Azospirillum brasilense*, AS = *Azospirillum* sp., GI = *Glomus intraradices*, UFC = unidad formadora de colonias, En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes en *p*<0.05.

### **Recuento de las bacterias**

En el análisis de varianza se observó diferencias altamente significativas en la colonización bacteriana. La mayor colonización se presentó en las plantas que fueron coinoculadas con *Azospirillum brasilense* más *Glomus intraradices*. En forma general, se observó para este estudio que la colonización osciló de  $10^{10}$  a  $10^{12}$  ufc/ml.

En pepino crecidas en perlita (Gul *et al.* 2013) demostró que la colonización de la BPCV *Pseudomonas*, presenta una población dinámica, reporta valores de  $10^3$  ufc/ml a  $10^6$  ufc, según el estado fenológico de la planta.

### **Calidad del fruto**

Al realizar el análisis de varianza se detectó que la concentración de la solución nutritiva no afectó significativamente a la firmeza, contenido de vitamina C, ni en el diámetro ecuatorial del fruto. Mientras que, el contenido de sólidos solubles (SSTF) y diámetro polar del fruto, fueron afectadas significativamente. La firmeza y el diámetro polar fueron afectados significativamente por los inoculantes. Sin embargo el diámetro ecuatorial no fue afectado por la inoculación.

### **Sólidos solubles totales del fruto**

El contenido de SSTF encontrados en este estudio fue de 2.7 ° brix en plantas nutridas con la concentración al 75 % de la SNUS y de 2.9°brix en con la SNUS al 100%. Moreno *et al.* (2013) mencionan que el contenido SST en pepino varía dependiendo del cultivar, reporta valores desde 2.8 hasta 3.7°brix, mientras que Galindo *et al.* (2014) señalan 2.5°brix con fertilización orgánica. Asimismo, Moreno *et al.* (2015), afirman que el contenido de SSTF varía según la concentración de la solución nutritiva, 2.9 y 3.3 °brix con la SNUS al 50 y 100%, respectivamente. Gómez *et al.* (2006) afirman que el contenido de sólidos solubles en el pepino puede variar en función de los nutrientes, en la época de cultivo y técnicas del cultivo sin suelo. Los inoculantes no afectaron significativamente el contenido de SSTF.

### **Firmeza**

La firmeza fue influenciada significativamente por la aplicación de la micorriza y rizobacterias. Al realizar la comparación de medias, se observó que las BPCV afectaron positivamente la firmeza del fruto la inoculación con *Azospirillum* sp incrementó en un 16 % la firmeza del fruto respecto al fruto de las plantas testigo. En pepino (del Amor *et al.*, 2008) observaron que plantas inoculadas con *Azospirillum* incrementaron el grosor del pericarpio del pepino en las plantas inoculadas. Este mismo autor menciona que las plantas fertilizadas con baja dosis de nitrógeno e inoculadas con *Azospirillum brasiliense* presenta la tendencia de mejorar las propiedades físicas del fruto.

### **Diámetro polar**

El diámetro polar fue influenciado significativamente por la aplicación de la micorriza y rizobacterias. Las plantas inoculadas con micorriza y rizobacterias produjeron frutos de mayor diámetro polar que las plantas testigo (Cuadro 5). Saeed *et al* 2015 reportan que el mayor tamaño del fruto de pepino cultivadas en invernadero se obtuvo en la plantas inoculadas con *Azotobacter* al compararlas con las plantas testigo. Similarmente, Nzanza (2012), encontró un incremento del 8 % en la longitud del fruto de jitomate al inocular *Glomus mosaceae*. El efecto de la inoculación sobre el incremento del diámetro polar del fruto puede deberse al efecto de la liberación de las fitohormonas, principalmente a las auxinas que incrementan la elongación celular y por consiguiente el incremento tamaño del fruto.

### **Vitamina C**

No hubo efecto significativo de la inoculación o de la solución nutritiva sobre el contenido de vitamina C del fruto. Sin embargo esta variable fue afectada significativamente por la interacción solución nutritiva \* inoculación. En tomate (Nzanza *et al.*, 2012), reportan que las plantas que fueron inoculadas con la HMA *Glomus mosseae* no incrementaron significativamente el contenido de vitamina c en el fruto, también mencionan que el tiempo de inoculación (antes o después de la siembra) influye en la calidad del fruto. El contenido relativamente bajo de vitamina c en el fruto puede deberse al estado inmaduro del fruto, pues en calabaza (Sharma and Rao., 2013)

detectaron que el contenido de vitamina c varia significativamente según la fase de desarrollo del fruto, estos autores registraron valores de 4.3 hasta 15.3 mg/100 g de peso fresco.

Cuadro 5. Efecto de la fertilización química y de los inoculantes sobre las variables de calidad a los en el cultivo de pepino hibrido Centauro. Comparación de medias (Tukey,  $P<0.05$ ).

<b>Factores</b>	<b>Firmeza (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Vitamina C (mg/100g)</b>	<b>SSTF (°Brix)</b>	<b>DE (cm)</b>	<b>DP (cm)</b>
<b>Solución nutritiva</b>					
<b>(SN)</b>					
SNUS 75%	4.67	8.57	2.72 b	5.18	23.19 b
SNUS 100 %	4.80	8.48	2.90 a	5.27	24.29 a
<b>Inoculante</b>					
Sin inoculante	4.35 b	8.48	2.75	5.18	22.08 b
AB	4.83 ab	8.25	2.75	5.25	24.58 a
AS	5.20 a	8.81	2.93	5.20	24.42 a
GI	4.77 ab	8.89	2.75	5.28	24.12 a
AB y GI	4.78 ab	8.13	2.80	5.07	23.35 a
AS y GI	4.50 b	8.62	2.88	5.37	23.92 a
SN * I	P<0.6656	P<0.0106	P<0.2046	P<0.6651	P<0.1032

Dónde: SSTF = solidos solubles totales del fruto, DEF = diámetro ecuatorial del fruto, DPF = diámetro polar del fruto. AB = *Azospirillum brasilense*, En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes en  $p<0.05$ .

## CONCLUSIONES

La aplicación de *Glomus intraradices* incrementó en variables agronómicas la altura, número de hojas, número de flores a los 45 DDS, y el diámetro de tallo con *Glomus intraradices* combinado *Azospirillum* sp. Asimismo, la coinoculación de *Azospirillum* sp más *Glomus intraradices* el rendimiento y calidad de fruto en relación a la firmeza. Por lo que estos simbioses tienen un potencial para ser empleadas en la producción sustentable del pepino.

## REFERENCIAS

- Ahamd, M.; Zeshan, M. S. H.; Nasim, M.; Zair, Z.A.; Nadeem, S. M.; Nazli, F. and Jamil, M. 2015. Improving the productivity of cucumber through combined application of organic fertilizers and *Pseudomonas fluorescens*. Pakistan. Pak. J. Agri. Sci. 52(4):1011-1016.
- A.O.A.C. 1980. Official methods of analysis. Association of the official analytical chemist. Washington, DC.
- Al-Hmoud, G. y Al-Momany, A. (2015). Effect of four mycorrhizal products on fusarium root rot on different vegetable crops. Jordan. Journal of Plant Pathology y Microbiology. 6(2):1-5
- Asghari, H. R. and Cavagnaro, T. R. 2011. Arbuscular mycorrhizas enhance plant interception of leached nutrients. Australia. Functional Plant Biology. 38(3): 219-226.
- Avis, T. J.; Gravel, V.; Antoun, H. y Tweddell, R. J. (2008). Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. Canada. Soil Biology and Biochemistry, 40(7): 1733-1740.
- Babaj, I.; Sallaku, G. and Balliu, A. 2014. The effects of endogenous mycorrhiza (*Glomus* spp) on plant growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativum* L.) under common commercial greenhouse conditions. Albania. Albanian Journal of Agricultural Sciences. 13(2): 24-28.
- Bajehbaj, A. A. 2010. The role of *Azospirillum lipoferum* bacteria in sustainable production of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Finland. Journal of Food, Agriculture and Environment. 8(2):347-349.
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. United States. Postharvest Biology and Technology, 63(1): 129-140.
- Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. India. India World Journal of Microbiology and Biotechnology. 28(4): 1327-1350.
- Bona, E.; Cantamessa, S.; Massa, N.; Manassero, P.; Marsano, F.; Copetta, A.; Lingua G.; Giovanni, D.A.; Gamalero, E. y Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. Heidelberg. Mycorrhiza. 1-11.
- Cassán, F.; Vanderleyden, J. y Spaepen, S. (2014). Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. New York. Journal of Plant Growth Regulation. 33(2): 440-459.

- Castañeda-Saucedo, M. C.; Gómez-González, G.; Tapia-Campos, E.; Maciel, O. N.; Pérez, J. S. B. y Silva, M. L. R. 2013. Efecto de *Azospirillum brasilense* y fertilización química sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch). México. *Interciencia*. 38(10): 737-744.
- Conversa, G.; Lazzizzera, C.; Bonasia, A. and Elia, A. 2012. Yield and phosphorus uptake of a processing tomato crop grown at different phosphorus levels in a calcareous soil as affected by mycorrhizal inoculation under field conditions. *Italia. Biology and fertility of soils*. 49(6): 691-703.
- Dasgan, H. Y.; Kusvuran, S. and Ortas, I. 2008. Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in recycling and open systems. Turkey. *African Journal of Biotechnology*. 7 (20):3606-3613
- Del Amor, F. M.; Serrano-Martínez, A.; Fortea, M. I.; Legua, P. y Núñez-Delicado, E. (2008). The effect of plant-associative bacteria (*Azospirillum* and *Pantoea*) on the fruit quality of sweet pepper under limited nitrogen supply. Spain. *Scientia Horticulturae*, 117(3): 191-196.
- Dhall, R. K.; Sharma, S. R. y Mahajan, B. V. C. (2012). Effect of shrink wrap packaging for maintaining quality of cucumber during storage. India. *Journal of food science and technology*. 49(4): 495-499.
- Díaz, F. A.; Grageda, O. A. and Lozano, C. M. G. 2015. Effectiveness of selected microbial strains on the growth of sweet sorghum. México. *Agricultural Sciences*. 6:772-777.
- Dobereiner and M. Day. 1976. Associative symbiosis in tropical grasses characterization of microorganisms and nitrogen fixation. 518-538.
- Dursun, A.; Ekinci, M. and Dönmez, M. F. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). Turkey. *Pak J. Bot.* 42(5): 3349-3356.
- Fibach-Paldi, S.; Burdman, S. and Okon, Y. 2012. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. Israel. *FEMS microbiol lett.* 326(2): 99-108.
- Figueiredo, M. D. V. B.; Seldin, L.; de Araujo, F. F. y Mariano, R. D. L. R. (2010). Plant growth promoting rhizobacteria: fundamentals and applications. *In Plant growth and health promoting bacteria*. Springer Berlin Heidelberg. pp. 21-43
- Galindo Pardo, F. V.; Fortis Hernández, M.; Preciado Rangel, P., Trejo Valencia, R.; Segura Castruita, M. Á.; y Orozco Vidal, J. A. (2014). Caracterización físico-

química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(7), 1219-1232.

- Gamalero, E., y Glick, B. R. (2011). Mechanisms used by plant growth-promoting bacteria. *In: Bacteria in agrobiology: plant nutrient management* Springer Berlin Heidelberg, pp. 17-46.
- Gómez, L. M. D.; Fernández T. J. P. y Baille, A. (2006). Cucumber fruit quality at harvest affected by soilless system, crop age and preharvest climatic conditions during two consecutive seasons. Spain. *Scientia horticulturae*. 110(1): 68-78.
- Gül, A.; Özaktan, H.; Kıdoğlu, F. and Tüzel, Y. 2013. Rhizobacteria promoted yield of cucumber plants grown in perlite under *Fusarium* wilt stress. Turkey. *Scientia Horticulturae*. 153: 22-25.
- Hayat, R.; Ali, S.; Amara, U.; Khalid, R. and Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion. Italia. *Annals of Microbiology*. 60(4): 579-598.
- Hodge, A. and Storer, K. 2015. Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: implications for individual plants through to ecosystems. Suiza. *Plant and soil*. 386: 1-19.
- Jahangiri, M.; Hassan-Beygi, S. R.; Aboonajmi, M., y Lotfi, M. (2016). Effects of storage duration and conditions on mechanical properties of Viola cucumber fruit under compression loading. Iran. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 18(2): 323-332.
- Kaymak, H. C. 2010. Potential of PGPR in agricultural innovations. *In: Plant growth and health promoting bacteria*. Maheshwari D.K. (ed), Springer. Berlin. 45-79pp
- Kohler, J.; Hernández, J. A.; Caravaca, F. and Roldán, A. 2008. Plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi modify alleviation biochemical mechanisms in water-stressed plants. *Functional Plant Biology*. Spain. 35:141-151.
- Krajinski, F.; Courty, P. E.; Sieh, D.; Franken, P.; Zhang, H.; Bucher, M.; Gerlach, N.; Kryvoruchko, I.; Zoeller, D.; Udvardi, M. and Hause, B. 2014. The H<sup>+</sup>-ATPase HA1 of *Medicago truncatula* is essential for phosphate transport and plant growth during arbuscular mycorrhizal symbiosis. Germany. *The Plant Cell*. 26(4): 1808-1817.
- Labidi, S.; Jeddi, F. B.; Tisserant, B.; Debiane, D.; Rezgui, S.; Grandmougin-Ferjani, A.; y Sahraoui, A. L. H. (2012). Role of arbuscular mycorrhizal symbiosis in root mineral uptake under CaCO<sub>3</sub> stress. Tunisia. *Mycorrhiza*. 22(5): 337-345.
- Liu Run-jin; Jiao Hui; Li Yan; Li Min; Zhu Xin-chan. Research advances in species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Chinense journal of applied ecology*. 20(9): 2301-2307.

- Mangmang, J. S.; Deaker, R. and Rogers, G. 2015. *Azospirillum brasilense* enhances recycling of fish effluent to support growth of tomato seedlings. Australia. Horticulturae. 1: 14-26.
- Mangmang, J. S.; Deaker, R. and Rogers, G. 2016. Germination characteristics of cucumber influenced by plant growth-promoting rhizobacteria. Australia. International Journal of Vegetable Science. 22(1): 66-75.
- Marschner, H. y Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and soil. 159(1): 89-102.
- Meenakshisundaram, M.; Santhaguru, K. and Rajend, K. 2011. Effects of bioinoculants on quality seedlings production of *Delonix regia* in tropical nursery conditions. India. Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research. 1(1): 98-107.
- Meng, X., Zhang; M.; Zhan, Z. y Adhikari, B. (2014). Changes in quality characteristics of fresh-cut cucumbers as affected by pressurized argon treatment. New York. Food and bioprocess technology, 7(3): 693-701.
- Moreno V. D.; Cruz R. W.; García L. E. Ibañez, M. A. Barrios D. J. M. y Barrios D. B. (2013). Cambios fisicoquímicos poscosecha en tres cultivares de pepino con y sin película plástica. Mexico. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 4(6): 909-920.
- Moreno, V. D.; Hernández, H. B. N.; Barrios, D. J. M., Ibañez, M. A.; Cruz, R.W. y Berdeja, A. R. (2015). Calidad poscosecha de frutos de pepino cultivados con diferente solución nutritiva. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 6(3): 637-643.
- Mosa, W. F. A. E. G.; Paszt, L. S., y EL-Megeed, N. A. A. (2014). The Role of Bio-Fertilization in Improving Fruits Productivity—A Review. Egypto. Advances in Microbiology, 4(15), 1057.
- Nzanza, B.; Marais, D. y Soundy, P. (2012). Yield and nutrient content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Glomus mosseae* inoculation. Africa. Scientia horticulturae, 144, 55-59.
- Okumura, R. S.; Mariano, D. D. C.; Dallacort, R.; Albuquerque, A. N.; Lobato, A. D. S.; Guedes, E. M. S.; Neto, C. F. O; Conceição, H. E. O. y Alves, G. A. R. (2013). *Azospirillum*: a new and efficient alternative to biological nitrogen fixation in grasses. Brazil. J Food Agric Environ, 2(1): 1142-1146.
- Orta. G. N.; Villarreal, R. M.; Torres, V. R.; Badillo, M. V. y Suárez, J. A. 2015. Influencia de rizobacterias en la germinación y vigor de semillas de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.'var. Grande'). España. ITEA. 111(1): 18-33.

- Ortaş, İ. 2010. Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. Turkey. Spanish Journal of Agricultural Research. 8(1): 116-122.
- Pereg, L.; de-Bashan, L. E. y Bashan, Y. (2016). Assessment of affinity and specificity of *Azospirillum* for plants. Switzerland. Plant and Soil, 399(1-2), 389-414.
- Phillips, J. M. y Hayman, D. S. (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.
- Redecker, D.; Schüßler, A.; Stockinger, H.; Stürmer, S. L.; Morton, J. B. y Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). Heidelberg. Mycorrhiza, 23(7), 515-531.
- Reyes-Ramírez, A.; López-Arcos, M.; Ruiz-Sánchez, E.; Latournerie-Moreno, L.; Pérez-Gutiérrez, A.; Lozano-Contreras, M. G. y Zavala-León, M. J. 2014. Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). México. Agrociencia. 48(3): 285-294.
- Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Di Mattia, E.; Tullio, M.; Rea, E. and Colla, G. 2010. Enhancement of alkalinity tolerance in two cucumber genotypes inoculated with an arbuscular mycorrhizal biofertilizer containing *Glomus intraradices*. Italia. Biol fertil soils. 46(5): 499-509.
- Run-jin, L., Hui; J., Yan; L., Min, L. y Xin-chan, Z. (2009). Research advances in species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi.
- Sabir, N. and Singh, B. 2013. Protected cultivation of vegetables in global arena. Indian. Journal of Agricultural Sciences. 83(2): 123-135.
- Saeed, K. S.; Ahmed, S. A.; Hassan, I. A. and Ahmed, P. H. 2015. Effect of bio-fertilizer and chemical fertilizer on growth and yield in cucumber (*Cucumis sativus*) in green house condition. Iraq. Pakistan Journal of Biological Sciences. 18(3): 129-134.
- Sarwade, P. P.; Chandanshive, S. S.; Kanade, M. B.; Ambuse, M. G. and Bhale, U. N. 2011. Growth effect of *Capsicum annum* var. Jwala plants inoculated with *Glomus fasciculatum* and *Trichoderma* species. India. International Multidisciplinary Research Journal. 1(12):13-16.
- Sharma, S., y Rao, R. (2013). Nutritional quality characteristics of pumpkin fruit as revealed by its biochemical analysis. India. International Food Research Journal, 20(5), 2309-2316.

- Shimomura, K.; Horie, H.; Sugiyama, M.; Kawazu, Y. y Yoshioka, Y. (2016). Quantitative evaluation of cucumber fruit texture and shape traits reveals extensive diversity and differentiation. *Japan. Scientia Horticulturae*, 199, 133-141.
- SIAP (servicio de informacion agroalimentaria). Atlas agroalimentario (2015). Primera edición, 2015.
- Srinivasan, M.; Kumar, K.; Kumutha, K. and Marimuthu, P. 2014. Establishing monoxenic culture of arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* through root organ culture. India. *Journal of Applied and Natural Science*. 1(6): 290-293.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of the 6th International Congress on Soilless Culture*. ISOSC. Netherlands. 633-649 pp.
- Subramanian, K. S.; Bharathy, C.; Gomathy, M. and Balakrishnan, N. 2014. Role of arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculation on Zn nutrition in grains of field grown maize. India. *Australian journal of crop science*. 8(5): 655-665.
- Ugrinovic, M.; Zdravkovic, M.; Zdravkovic, J.; Josic, D.; Djordjevic, S. y Pavlovic, S. (2015). In vitro and in vivo effects of *Pseudomonas* spp. and *Bacillus* sp. on *Fusarium acuminatum*, *Botrytis cinerea* and *Aspergillus niger* infecting cucumber. Serbia. *Pestic. Phytomed.* (Belgrade), 30(3):169–178.
- Van Loon, L. C. 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*. 119(3): 243-254.
- Veresoglou, D.S.; Chen, B. y Rillig, M. C. 2014. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. Germany. *Soil Biology y Biochemistry*. 46 (2012): 53-62.
- Veresoglou, S. D.; Chen, B., y Rillig, M. C. (2012). Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*. Germany. 46:53-62.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, 255(2), 571-586.
- Wang, J.; Zhang, S.; Wang, X.; Wang, L.; Xu, H.; Wang, X.; Shi, Q.; Wei, M. and Yang, F. 2013. Agrobacterium-mediated transformation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) using a sense mitogen-activated protein kinase gene (CsNMAPK). China. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 113: 269-277.