



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**VERMICOMPOST, BACTERIAS PROMOTORAS DE
CRECIMIENTO Y HONGOS ENDOMICORRÍZICOS EN CHILE
JALAPEÑO (*Capsicum annum* L.)**

SALVADOR RÍOS PÉREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

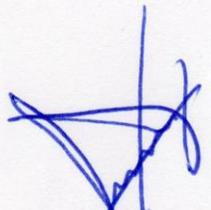
2015

La presente tesis titulada: VERMICOMPOST, BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO Y HONGOS ENDOMICORRÍZICOS EN CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.) realizada por el alumno: SALVADOR RÍOS PÉREZ bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



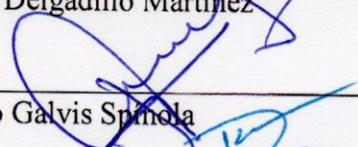
Dr. Juan José Almaraz Suarez

ASESOR



Dr. Julián Delgadillo Martínez

ASESOR



Dr. Arturo Galvis Spindola

ASESOR



Dr. Joel Velasco Velasco

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre de 2015

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece (Filipenses 4:13)

¿Hay circunstancias fuertes en tu vida? el apóstol pablo nos enseña en la **Palabra de Dios a caminar por encima de las dificultades y saber que la verdadera felicidad la encontramos cuando avivamos nuestro gozo en medio de las pruebas y confiamos en Cristo.**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la bendición de concluir esta etapa de mi vida satisfactoriamente y ayudarme a mi superación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento brindado para el desarrollo de esta investigación la cual forma parte de mi formación profesional.

Al Colegio de Postgraduados por las facilidades proporcionadas para realizar mis estudios de Maestría.

Al Dr. Ronald Ferrera-Cerrato. Por la formación y orientación académica en la realización de esta investigación, por su disciplina y cariño, sus consejos y tiempo brindado, muchas gracias.

Al Dr. Alejandro Alarcón. Por su ayuda y consejos en la realización de este trabajo, su ayuda incondicional.

Al Dr. Juan José Almaraz Suárez y al Dr. Julián Delgadillo Martínez. Por su apoyo en la revisión del escrito, sus consejos, paciencia y tiempo brindado. Su ayuda fue fundamental en la culminación de este escrito, muchas gracias.

A mi consejo particular: Dr. Juan José Almaraz Suárez, Dr. Julián Delgadillo Martínez, Dr. Arturo Galvis Spínola y Dr. Joel Velasco Velasco. Por su ayuda y sugerencias para mejorar el trabajo científico.

Al personal del Área de Microbiología, por su apoyo en el laboratorio. Pero muy en especial al Sr. Gabriel Vázquez González, por su amistad y por el apoyo en los procesos de fósforo y nitrógeno gracias por su amistad.

A la M.C. María Encarnación por el apoyo y consejos brindados, por su amistad y confianza muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y permitirme realizar uno más de mis objetivos, sus palabras señor confortan mi espíritu.

A mis padres y familia que me apoyaron incondicionalmente, mi esposa Alma Rosa, mi hija Lupita, mis hijos Daniel y Esteban por todo el apoyo y ayuda brindados.

A mi padre Luis Ríos Ramírez por la confianza brindada en mis decisiones, por ese gran hombre que siempre está allí para lo que se necesite y sin poner un pero siempre está en los momentos difíciles, por eso muchas gracias y que Dios te bendiga siempre.

A mi madre Isabel Pérez Núñez por las oraciones realizadas para que Dios siempre nos acompañe a mí y a todos mis hermanos, muchas gracias mamá.

A mis hermanos Luis Ríos Pérez y Juan Carlos Ríos Pérez por todas esos momentos bonitos que se compartimos en familia, por darle orgullo a mis papas que a pesar que ellos no estudiaron nosotros gracias a Dios y a su ayuda de ellos los tres somos unos profesionistas.

A mis amigos Deysi Pineda Mendoza, Brigsania Almazán Galindez, Azareel Angulo Castro, Vivian Quiroz, Claudia de Rosa y a todos mi amigos con los que compartimos gratos momentos durante esta etapa, esos momentos que marcaron mi vida, por todo lo que vivimos muchas gracias amigos que Dios siempre los cuide y que Dios les de muchas bendiciones, Dios me los cuide a todos.

VERMICOMPOST, BACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO Y HONGOS ENDOMICORRÍZICOS EN CHILE JALAPEÑO (*Capsicum annuum* L.)

Salvador Ríos Pérez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

Los fertilizantes químicos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) de asimilación por los cultivos. El fertilizante no aprovechado por las plantas puede tener un impacto ambiental adverso, como contaminación de mantos acuíferos, eutrofización, lluvia ácida y calentamiento global. Una alternativa al uso de los fertilizantes químicos son los biofertilizantes y materiales orgánicos como el vermicompost; que pueden sustituir parcial o totalmente la fertilización química. Los abonos orgánicos favorecen la dinámica del suelo desde el punto de vista del desarrollo vegetal; la actividad macro y microbiana reducen los costos del uso de fertilizantes químicos. En este trabajo se evaluó el efecto de cinco dosis de vermicompost 0, 0.5, 1, 2 y 3 t ha⁻¹ aportando (0, 6.85, 13.7, 27.4 y 41.1 kg de N ha⁻¹) en comparación con dos dosis de fertilizantes químicos 30 y 60 kg de N ha⁻¹, en el crecimiento de chile jalapeño. Los resultados indican que la utilización de vermicompost en el cultivo del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) tiene efectos positivos en el desarrollo del cultivo con la dosis de 1 t ha⁻¹ en comparación a los tratamientos con fertilización química. En el segundo experimento se observó que cuando las plantas son inoculadas con HMA, RPCV y HMA+RPCV fertilizadas con vermicompost a 1 t ha⁻¹ + urea 240 kg ha⁻¹ se obtienen los mejores resultados en las variables altura de planta con 41.2 cm en comparación al testigo 29.4, para número de hojas el HMA+RPCV fertilizado con urea y vermicompost 78.6 y el testigo 42.6, área foliar el tratamiento HMA+RPCV fertilizado obtuvo 1170.29 en comparación al testigo 355.35 cm², para el número de frutos el tratamiento con HMA+RPCV fertilizado 16.2 y el testigo 7.6 chiles, peso fresco el tratamiento HMA+RPCV y fertilizado 161.46 en comparación al testigo con 113.42 g. por lo tanto se observó mejores resultados al convinar HMA+RPCV y fertilizado con urea a la dosis de 240 kg ha⁻¹ y vermicompost a la dosis de 1 t ha⁻¹ se obtienen los mejores resultados.

Palabras clave: Fertilizantes orgánicos, chile jalapeño, hongos micorrízicos, rizobacterias.

VERMICOMPOST, PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIAS AND ARBUSCULAR ENDOMYCORRHIZAL FUNGI ON CHILI (*Capsicum annuum* L.)

Salvador Ríos Pérez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Chemical fertilizers are inefficient ($\leq 50\%$) of assimilation by crops. The fertilizer not used by plants may have an adverse environmental impact, such as pollution of groundwater, eutrophication, acid rain and global warming. An alternative to using chemical fertilizers are bio-fertilizers and organic materials such as vermicompost; which can partially or completely replace chemical fertilizers. Organic fertilizers promote soil dynamics from the viewpoint of plant growth; the macro and microbial activity reduce the costs of using chemical fertilizers. This research evaluated the effect of five doses of vermicompost: 0, 0.5, 1, 2 and 3 t ha⁻¹ providing 0, 6.85, 13.7, 27.4 and 41.1 kg N ha⁻¹ respectively, compared with two doses of chemical fertilizers 30 and 60 kg N ha⁻¹ in chili jalapeño (*Capsicum annuum* L.) growth. The results indicate that the use of vermicompost in chili jalapeño crops has positive effects on growth crop at a dose of 1 t ha⁻¹ compared to chemical fertilizer treatments. In the second experiment, we observed that when the plants are inoculated with HMA, RPCV and HMA + RPCV fertilized with vermicompost to 1 t ha⁻¹ + urea 240 kg ha⁻¹ the best results in plant height with 41.2 cm, compared with the control 29.4; for number of sheets for the HMA + RPCV fertilized with urea and vermicompost and control 78.6 42.6; leaf area RPCV the HMA + fertilized treatment compared with 1170.29 won control 355.35 cm², the number of fruits for treatment HMA + RPCV fertilized and control 16.2 7.6 chiles, fresh weight RPCV the HMA + fertilized treatment and 161.46 compared with control 113.42 g. Therefore the best results were observed combining HMA + RPCV and fertilized with urea at a dose of 240 kg ha⁻¹ and vermicompost dose of 1 t ha⁻¹

Key words: organic fertilizers, chili jalapeño, mycorrhizal fungi, rhizobacteria.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMEINTOS.....	iV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN.....	Vi
ABSTRACT.....	Vii
CONTENIDO.....	Viii
LISTA DE CUADROS.....	Xi
LISTA DE FIGURAS.....	Xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares.....	4
Hipótesis general.....	4
Hipótesis específicas.....	4
III. REVISION DE LITERATURA.....	5
Importancia del cultivo de chile y su producción.....	7
La capsaicina.....	9
El suelo y factores que afectan a las plantas.....	10
Importancia del fósforo.....	12
Vermicompost y microorganismos.....	13
Conceptos generales sobre las micorrizas.....	14
Desarrollo de la simbiosis micorrízica.....	16
Rizobacterias promotoras de crecimiento (RPCV).....	17
Efectos benéficos de las RPCV.....	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
1. EXPERIMENTO DE SELECCIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE VERMICOMPOST.....	20
Localización del sitio experimental.....	20
Material vegetal, siembra en semilleros y trasplante.....	20
Análisis químico y microbiológico del suelo y el vermicompost.....	21
Tratamientos y diseño experimental.....	22

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 5 repeticiones por tratamiento, teniendo un total de 35 unidades experimentales.	23
Fertilización química	23
Control de plagas y enfermedades	24
VARIABLES EVALUADAS	24
Análisis estadístico.....	25
2. EXPERIMENTO DE VERMICOMPOST Y BIOFERTILIZANTES	25
Localización del sitio experimental	25
Sustrato, caracterización del suelo y fertilizante orgánico.....	26
Material vegetal y microbiológico	26
Siembra en semilleros e inoculación.....	26
Análisis químico del suelo	27
Llenado de bolsas y trasplante	28
Tratamientos y diseño experimental	28
Fertilización química	30
Control de plagas y enfermedades	30
VARIABLES EVALUADAS	33
VARIABLES DE DESARROLLO	33
Análisis nutrimental de fósforo y nitrógeno en las plantas	33
Colonización micorrízica	34
Análisis estadístico.....	35
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
1. EXPERIMENTO DE SELECCIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE VERMICOMPOST	35
Área foliar	35
Peso seco de parte aérea y de raíz	37
Número de hojas	38
Diámetro de tallo.....	39
Altura	40
Fotosíntesis de la planta	41
Discusión	42
Conclusiones	45
2. EXPERIMENTO DE VERMICOMPOST Y BIOFERTILIZANTES	46

Altura de planta.....	46
Número de hojas	47
Área foliar	49
Número de frutos por tratamiento.....	50
Peso fresco de los frutos	52
Peso seco de frutos.....	53
Peso seco de la raíz	55
Peso seco de la parte aérea.....	56
Respuesta del estado nutrimental de las plantas	58
Fósforo en biomas total.....	58
Fósforo en fruto.....	59
Nitrógeno en biomasa total	61
Nitrógeno en fruto.....	62
Colonización micorrízica	64
Conclusiones	66
VII LITERATURA CITADA.....	67

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Principales estados productores de chile verde en México.....	8
Cuadro 2.	Superficie sembrada y producción de chile jalapeño en México.....	9
Cuadro 3.	Características químicas del suelo utilizado.....	22
Cuadro 4.	Análisis microbiológico del vermicompost y suelo utilizado.....	23
Cuadro 5.	Tratamientos y nitrógeno aportado por hectárea.....	24
Cuadro 6.	Fertilización de chile jalapeño durante el ciclo del cultivo (basado en Azofeifa y Moreira 2008).....	24
Cuadro 7.	Análisis físico-químico del suelo utilizado.....	29
Cuadro 8.	Combinaciones de estudio entre los tratamientos.....	30
Cuadro 9.	Insecticidas utilizados en el cultivo del chile jalapeño.....	32
Cuadro 10.	Colonización micorrízica.....	66

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Producción promedio de los principales países productores de chile (<i>Capsicum annuum</i> L.) fresco en el mundo.....	7
Figura 2.	Siembra de semillas de chile jalapeño en semilleros.....	28
Figura 3.	Adulto de <i>paratrioza cockerelli</i> en hoja del cultivo de chile (Ríos-Pérez 2014).....	34
Figura 4.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en área foliar.....	37
Figura 5.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en peso seco en parte aérea.....	39
Figura 6.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en peso seco de la raíz.....	40
Figura 7.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en número de hojas.....	41
Figura 8.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en diámetro de tallo.....	42
Figura 9.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en altura de planta.....	43
Figura 10.	Efecto del vermicompost y fertilizante químico en la tasa fotosintética.....	44
Figura 11.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en altura de las plantas de chile jalapeño.....	49
Figura 12.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en número de hojas en las plantas de chile jalapeño.....	50
Figura 13	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en área foliar de las plantas de chile jalapeño.....	52

Figura 14.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en número de frutos en las plantas de chile jalapeño.....	53
Figura 15.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso fresco de chile jalapeño.....	55
Figura 16.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de chile jalapeño.....	56
Figura 17.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de raíz de chile jalapeño.....	58
Figura 18.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de la parte aérea de chile jalapeño.....	59
Figura 19.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de fósforo en biomasa total en chile jalapeño.....	61
Figura 20.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de fósforo en fruto de chile jalapeño.....	62
Figura 21.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de nitrógeno en biomasa total de chile jalapeño.....	64
Figura 22.	Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de nitrógeno en fruto de chile jalapeño.....	65

I. INTRODUCCIÓN

En México el cultivo de chile es de gran importancia económica y social, se cultiva desde la época prehispánica y forma parte de la dieta de los mexicanos, siendo el fruto consumido en fresco y en seco en diferentes platillos de la cocina mexicana (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). A nivel mundial, México es el segundo productor de chile con 2, 379, 737 toneladas, de las cuales cerca del 10% se exportan a Estados Unidos, Europa y Asia (FAOSAT, 2012). De las cinco especies cultivadas de chile, *Capsicum annuum* L. es la de mayor importancia y distribución en el Mundo, siendo México su centro de domesticación, donde se presenta la mayor diversidad de formas cultivadas y silvestres (López, 2003). Varios tipos de esta especie se consumen en el país, donde una de las más cultivadas es el chile jalapeño, el cual se consume en fresco.

El chile jalapeño es una hortaliza que presenta demanda de nutrientes, para satisfacerla se utilizan comúnmente fertilizantes minerales, los cuales en dosis excesivas pueden causar efectos adversos al ambiente, por lo que es necesario generar otras opciones para satisfacer la demanda de nutrientes por el cultivo, con menor costo económico y ambiental (Rabie y Humainy 2004).

El chile jalapeño en agricultura intensiva o semi-intensiva, requiere del uso de fertilizantes y agroquímicos; sin embargo, estos al ser utilizados indiscriminadamente pueden generar desequilibrios en los agroecosistemas, provocar acumulación de sales, modificar el pH, la estructura y aireación del suelo (Peña, 1992; Bélanger y Avis, 2002). Además, los fertilizantes químicos son caros y se espera que sus precios aumenten en los próximos años, lo que afectará particularmente a los pequeños productores, que a menudo tienen dificultades para solventar la compra de fertilizantes necesarios para mantener la fertilidad de los suelos y obtener cosechas rentables (Gensch *et al.*, 2011).

Actualmente se han propuesto biotecnologías basadas en la utilización de productos orgánicos que mantienen la fertilidad sin alterar el microbioma del suelo (Pulido *et al.*, 2003). Entre estos productos están el vermicompost y los biofertilizantes microbianos, los cuales tienen un efecto positivo en la fertilidad del suelo debido a que proporcionan nutrientes, materia orgánica, corrigen deficiencias y mantienen la dinámica del carbono, nitrógeno y otros nutrientes del suelo; además son de liberación lenta, mejoran las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo (Astier y Hollands, 2005; Garcia-Ruíz *et al.*, 2008; Fliessbach *et al.*, 2007). Los biofertilizantes son aplicados al suelo con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización química, así como disminuir los contaminantes generados por los agroquímicos (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). El vermicompost contiene enzimas extracelulares microbianas que aumentan la mineralización y se mantienen activas tras la incorporación de estos materiales al suelo; además la aplicación de este mejora la estructura biológica del suelo y posee una gran gama de microorganismos que pueden colonizar rápidamente las raíces, lo que impide que estos sean lavados por el agua de riego (Arancon *et al.*, 2005; Chávez, 1994; Edwards *et al.*, 2004; Keeling *et al.*, 2003). Hay evidencias que señalan que el vermicompost puede suprimir algunas enfermedades de las raíces de las plantas (Espinosa-Victoria *et al.*, 2004; Garmendia *et al.*, 2004), cualidad que se ha relacionado directamente con una mayor población de microorganismos benéficos presentes (Fernández-Gómez *et al.*, 2011, 2012; Ramírez 1996).

Los biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV), influyen directamente en el crecimiento y mejoran el estado nutricional de la planta (Armenta-Bojórquez *et al.*, 2010). Los HMA mejoran el desarrollo del cultivo por la simbiosis mutualista que establecen con las plantas en donde intercambian nutrientes, estos aumentan la absorción de fósforo, ya que sus hifas, son 10 veces más delgadas y

largas que la raíz, exploran mayor superficie de suelo (Russo y Perkins, 2010). Estos hongos también mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo (Finlay, 2008; Guadarrama-Chávez *et al.*, 2004) e incrementan tolerancia de las plantas a la salinidad (Latef y He, 2011).

Las RPCV son un grupo de microorganismos que ejercen un efecto positivo en el crecimiento de las plantas. Estas bacterias poseen diferentes mecanismos para promover el desarrollo de las plantas como son: fijación de nitrógeno (Rubio y Ludden 2008; Raymond *et al.*, 2004), producción de hormonas vegetales (Ahemad y Khan 2012c; Tank y Saraf 2010), solubilización de fosfatos (Hayat *et al.*, 2010; Ahemad y Khan 2012c) y producción de metabolitos que suprimen el crecimiento de fitopatógenos (Rajkumar *et al* 2010), entre otros como la ACC desaminasa (Kang *et al.*, 2010; Nadeem *et al.*, 2007; Zahir *et al.*, 2008; Zahir 2009). Estas RPCV se han usado como biofertilizantes en diferentes cultivos, principalmente en cereales, donde se ha demostrado sus efectos benéficos (Díaz-Zorita y Fernández-Canigía 2009; Hartmann y Bashan 2009).

El objetivo planteado para la presente investigación fue evaluar la relación de los HMA, RPCV y vermicompost en el crecimiento vegetativo, nutrición y rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), con la finalidad de proporcionar innovaciones biotecnológicas en el proceso de producción de esta variedad de chile, que conduzca a una disminución del uso de fertilizantes químicos y así favorecer una agricultura más rentable y sustentable en México.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

- Evaluar el efecto del vermicompost, bacterias promotoras de crecimiento (RPCV) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el crecimiento de chile (*Capsicum annuum* L.).

Objetivos particulares

- Determinar la dosis óptima de vermicompost para el cultivo del chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).
- Estudiar la respuesta de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) a la aplicación combinada de vermicompost, hongos micorrízicos arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento.

Hipótesis general

- El vermicompost, las bacterias promotoras de crecimiento y los hongos micorrízicos arbusculares incrementan el crecimiento y rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.).

Hipótesis específicas

- Al aumentar la dosis de aplicación de vermicompost aumenta el crecimiento y rendimiento de frutos de chile jalapeño.
- La aplicación combinada de vermicompost, bacterias promotoras de crecimiento y hongos micorrízicos arbusculares tiene un mayor efecto en el crecimiento y rendimiento de chile jalapeño que su uso individual.

III. REVISION DE LITERATURA

El centro de origen del género *Capsicum* está en Sudamérica (Berríos *et al.*, 2007; López, 2003), su nombre científico deriva del griego *kapso* que significa “picar” (Nuez *et al.*, 2003). Su amplia distribución complica la determinación de su origen, se cree que pudo haber sido Bolivia, Argentina o Brasil. Cabe mencionar que estudios biogeográficos y arqueobotánicos indican que la dispersión del género *Capsicum* a lo largo del continente Americano (Fernández y Russo 2006), algunas de las especies se domesticaron en lugares diferentes, uno de esos lugares de domesticación fue México (IBPGR, 1983; Hernández-Verdugo *et al.*, 1999). Los estudios que se han realizado sobre el género, reportan que existen entre 20 y 30 especies en el mundo, de estas, solo cinco especies de Chile se encuentran domesticadas (Milla 2006; Morán *et al.*, 2004), las cuales son: *C. annuum*, domesticada en Mesoamérica, *C. chinense*, Chile habanero y tipos parecidos, *C. frutescens*, Chile tipo Tabasco, *C. baccatum* Chile sudamericano del grupo de los ajíes y *C. pubescens* especie andina que incluye a los pimientos conocidos como “rocoto” (Berríos *et al.*, 2007). De todas estas especies, las consumidas con mayor frecuencia por el hombre pertenecen a *C. annuum* (Olmsted *et al.*, 2008).

La tradición del consumo de Chile en México ha perdurado desde tiempos prehispánicos y forma parte de la dieta diaria de los mexicanos, junto con los productos derivados del maíz (*Zea maíz* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), cacao (*Theobroma cacao* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Perry y Flannery, 2007; Sanchez, 2006).

La mayoría de los tipos de chile cultivados en el mundo pertenecen a la especie *C. annuum* con distintos grados de picor, de moderado a muy intenso, siendo preferido los del término medio (Noriega, 2009). Los chiles se cultivan en temporal y con riego, en diferentes meses del año. El tamaño de los cultivares son muy diferentes, desde rastreros hasta arbustivos; la mayoría viven menos de un año, aunque algunos cultivares duran varios años y llegan a ser arbustivos. El crecimiento es simpodial; los tallos y ramas se forman de sectores en cuyo nudo superior generalmente hay yemas florales y dos ramillas que forman un dicaso, la rama más grande continúa el crecimiento y en su nudo superior se repite la secuencia de inflorescencias y ramas (León, 2000). El tamaño y forma de las hojas varían considerablemente aún en una misma planta; la lámina es generalmente elíptica, con el ápice agudo y la base a menudo asimétrica (Nuez *et al.*, 2003). Las flores son de color blanco, en algunas ocasiones son verdosas y solitarias en cada nudo, ocasionalmente fasciculadas. El cáliz cónico, verde, se divide en el borde superior en cinco dientes agudos, los pedicelos a menudo pendiente en la antesis y corola blanca lechosa (ocasionalmente púrpura), sin manchas difusas en la base de los pétalos, los cuales son usualmente rectos (León, 2000; Nuez *et al.*, 2003). Las flores de los chiles se abren en las primeras horas de la mañana y poco después las anteras comienzan a descargar polen. La posición del pistilo, situado entre las anteras, hace posible que en la mayoría de los casos haya autopolinización (León, 2003).

El fruto puede alcanzar distintos tamaños, desde poco menos de 1 cm hasta 15 cm y sus formas son redondos y alargados, en colores que oscilan de distintos tonos, verde en estadios inmaduros y rojos en estados maduros (León, 2000; Noriega, 2009; Nuez *et al.*, 2003).

Importancia del cultivo de chile y su producción.

El género *Capsicum* tiene gran importancia económica nacional y mundial; en la Figura 1 se muestran los diez países con mayor producción de chiles frescos. El SIAP (2013), reporta que en el 2012 México ocupó el segundo lugar en producción de chiles frescos, así mismo se destinaron 136 053 ha para su producción comercial, con un rendimiento de 2 379 737 t ha⁻¹.

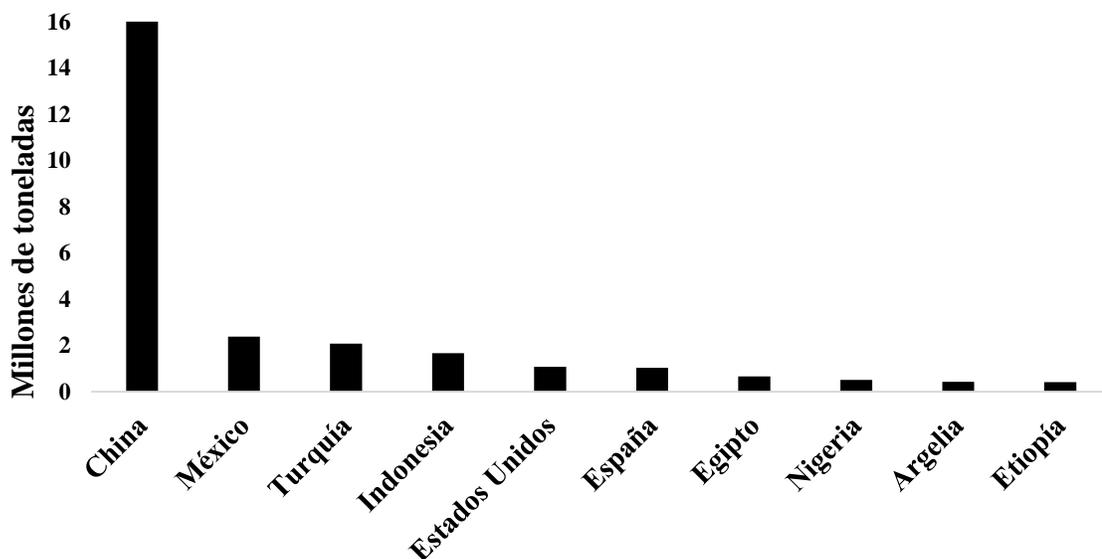


Figura 1. Producción promedio en millones de los principales países productores de chile (*Capsicum annum* L.) fresco en el mundo (FAOSTAT 2012).

El Cuadro 1 muestra los 20 principales estados productores de chile verde en México, los estados de Zacatecas y Chihuahua son los que presentan mayor superficie sembrada de chile fresco; respecto al rendimiento, el Estado de México, Sinaloa y Baja California Sur registran los valores más altos con 52.66, 36.7 y 36.29 t ha⁻¹. El Cuadro 2 muestra la producción de chile jalapeño, la

cual se concentra en el centro y norte del país. Guanajuato es el estado que tiene mayor rendimiento por hectárea seguido de Puebla, Quintana Roo, Hidalgo y Estado de México.

Cuadro 1. Principales estados productores de chile verde en México (SIAP, 2012).

Ubicación	Superficie Sembrada (ha)	Rendimiento (ton ha⁻¹)
Estado de México	100	52.8
Sinaloa	15211	36.7
Baja California Sur	1549	36.3
Tamaulipas	2563	32.7
Michoacán	3004	27.9
Sonora	3413	26.3
Baja California	579	26.1
Nuevo León	870	26.0
Nayarit	1836	25.6
Querétaro	702	25.6
Chihuahua	23923	24.2
Coahuila	492	23.9
Colima	478	23.6
Jalisco	3995	20.1
Aguascalientes	781	16.4
Guanajuato	3848	15.6
San Luis Potosí	15265	11.5
Zacatecas	31852	11.0
Quintana Roo	2178	9.9
Morelos	153	8.6

Cuadro 2. Superficie sembrada y producción de chile jalapeño en México (SIAP, 2012).

Ubicación	Superficie Sembrada (ha)	Rendimiento (ton ha⁻¹)
Guanajuato	261	45.8
Puebla	20	39.4
Quintana Roo	2129	37.6
Hidalgo	424	37.3
Estado de México	11	32.1
Tabasco	107	32.0
Sonora	292	29.4
Baja California	368	27.7
Nuevo León	590	27.0
Querétaro	280	25.9
Jalisco	1457	25.6
Michoacán	2055	25.0
San Luis Potosí	243	24.1
Yucatán	26	23.8
Campeche	1608	23.6
Chihuahua	9525	20.1
Zacatecas	4	15.4
Nayarit	1303	14.9
Guerrero	1	13.5
Durango	200	9.7

La capsaicina

El chile es parte de la dieta Mesoamericana, por su sabor, placer o picor; La capsaicina (trans-8-metil-N-vanillil-6-nonenamida) confiere la característica picante a los frutos de chile. El contacto que existe entre la capsaicina y las neuronas sensoriales da como resultado la liberación de opioides, como las endorfinas, que son sustancias que bloquean el dolor y provocan un estado placentero. El consumo sucesivo de chile provoca una descarga mayor de endorfinas, de manera que resulta más placentero que el dolor que podría causar (Long, 2008; López, 2003).

El chile contiene un protoalcaloide cuya fórmula empírica es ($C_{18}H_{27}O_3N$), siendo un producto de condensación del ácido decilénico y de la 3-hidroxi-4 metoxibenzilamida. Se ha demostrado que la capsaicina forma parte de una mezcla de varias amidas, comúnmente llamadas capsaicinoides (Vallejo y Estrada, 2004).

La capsaicina posee cualidades analgésicas y antiinflamatorias, y se utiliza con fines terapéuticos para tratar dolores provocados por la artritis reumatoide y la neuropatía diabética. No obstante, los argumentos de beneficios o efectos dañinos de la capsaicina son controvertidos, algunas referencias señalan que es un agente carcinogénico, co-cancerígeno o promotor de tumores, mientras que otras remarcan sus efectos quimiopreventivos y quimioterapéuticos (Surh y Lee, 1995; Surh, 2002). Luo *et al.* (2010) afirman que los capsaicinoides (capsaicina, dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina, homodihidrocapsaicina, homocapsaicina, etc.) ejercen múltiples efectos fisiológicos en la salud humana por su potencial en el alivio del dolor, la prevención del cáncer y la pérdida de peso por su actividad de antioxidante.

El suelo y factores que afectan a las plantas

El suelo es un sistema biogeoquímico natural que se origina como resultado de la intemperización de las rocas madres por las acciones conjuntas del clima, vegetales y animales, juega un papel importante en la sostenibilidad de los ecosistemas naturales y los manejados por el hombre. El suelo constituye un reservorio temporal del agua, el cual filtra en los primeros metros de su viaje hacia los mantos acuíferos, y actúa como soporte de la vegetación, a la que le aporta agua y nutrientes. Los ecosistemas pueden ser mantenidos indefinidamente mientras el clima se mantenga en ciertos límites y no sufra agresiones externas como las causadas por la lluvia ácida (Hillel 1998). El suelo es un sistema complejo y dinámico que apoya el crecimiento de las plantas. En el ambiente del suelo, el crecimiento y desarrollo de las plantas se ve influido por una variedad de tensiones

que son las principales limitaciones para la producción agrícola. Estas tensiones son bióticas y abióticas, en las primeras se encuentran patógenos y plagas de las plantas (virus, bacterias, hongos, insectos, nematodos, etc.) y en las abióticas, se incluye la salinidad, sequía, inundaciones, metales pesados, temperatura, gases y la deficiencia o exceso de nutrientes. El estrés abiótico es considerado como una de las principales causas de reducción de los rendimientos, sin embargo, esto varía dependiendo de los factores del suelo y de las plantas. Algunos impactos generales que causa el estrés abiótico como la salinidad, sequía y anegamiento sobre el crecimiento de plantas son desbalances hormonales, desequilibrio nutricional y susceptibilidad a enfermedades (El-Iklil *et al.*, 2000; Nadeem *et al.*, 2010b; Glick *et al.*, 2007; Zapata *et al.*, 2003).

Varios estudios han mostrado que el uso de fertilizantes químicos pueden tener efectos negativos en el suelo tales como acidificación, pérdidas de nutrientes por lixiviación, volatilización, disminución del contenido de materia orgánica (MO) y reducción de las comunidades microbianas (Marschner, 2002).

Con el objetivo de mejorar la calidad biológica del suelo, se ha propuesto la adición de fertilizantes orgánicos como: compost y/o vermicompost, los cuales han demostrado su influencia en la fertilidad del suelo resultando una mejor asimilación de nutrientes por la planta (Larchevêque *et al.*, 2005). La incorporación de vermicompost en tierras de cultivo es de suma importancia ya que tiene índices de sales solubles muy bajas y aporta gran cantidad de materia orgánica al suelo, así como gran cantidad de microorganismos que ayudan a la mineralización de la materia orgánica, que en consecuencia genera mayor disponibilidad de nutrientes, además, aumenta la fertilidad y biomasa microbiana, esto tiene un efecto positivo en el crecimiento de la planta y retención de nutrientes evitando su lixiviación (Jouquet *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2008).

Importancia del fósforo

El fósforo es un elemento importante para todos los seres vivos, forma parte de las moléculas orgánicas esenciales para la vida. Después del nitrógeno el fósforo es el segundo nutriente más importante para el crecimiento de la planta, este es uno de los macronutrientes esenciales, es parte integral del metabolismo energético y constituyente básico de los ácidos nucleicos y de las membranas en todos los seres vivos.

Las plantas absorben solo las formas inorgánicas solubles HPO_4^{2-} y H_2PO_4 , también llamadas ortofosfatos, y que proceden de la mineralización de materiales orgánicos y de solubilización de fuentes minerales (Smith *et al.*, 2003). En plantas, es parte principal de los procesos bioquímicos como la fotosíntesis y la respiración, procesos que son activados por el fósforo inorgánico y/o derivados. El fósforo se requiere en el proceso metabólico de la transferencia de energía y en la biosíntesis de macromoléculas (Feng *et al.*, 2004; Shenoy y Kalagudi, 2005). Los ésteres de fosfato actúan, en general, como portadores energéticos en varias rutas metabólicas y como precursores de los ácidos nucleicos, mientras que los fosfolípidos juegan un papel importante en la integridad y función de las membranas celulares (Calderón-Vásquez *et al.*, 2009; Maathuis, 2009; Sánchez, 2007).

Los procesos de señalización celular, la fosforilación y la desfosforilación de las proteínas son cruciales para las rutas de transducción, la homeostasis del fosfato regula el transporte de los azúcares fosforilados a través de la membrana y la síntesis de almidón (Raghothama y Karthikeyan, 2005). Las semillas son el principal reservorio de fósforo, particularmente en las vacuolas. Allí, se almacena en forma de ácido fítico, el cual quelata la mayor parte de los cationes contenidos en la semilla como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , aunque también Fe^{2+} y Zn^{2+} (Maathuis, 2009).

El fósforo es un elemento de muy baja disponibilidad en la rizósfera, por lo que es el segundo elemento mineral después del nitrógeno, que más limita el crecimiento vegetal (Schachtman *et al.*, 1998) por lo tanto para un buen funcionamiento de la planta se requieren cantidades adecuadas de fósforo equivalentes a 0.3 y 0.5 % de la masa seca de la planta, su deficiencia en el suelo y por consiguiente en la planta resulta en un retraso para el desarrollo, y dado que es un elemento poco móvil, las hojas nuevas presentan una tonalidad púrpura debido a un exceso de producción de antocianinas; además deficiencias de fósforo conducen a una baja fotosíntesis y por consiguiente a una reducción de la mayoría de los procesos metabólicos (Taiz y Zeiger, 2010).

Vermicompost y microorganismos

Una gran cantidad de residuos orgánicos industriales se producen anualmente, los cuales pueden procesarse biológicamente para obtener abonos orgánicos. Las lombrices de tierra pueden ingerir y procesar la mayoría de estos residuos orgánicos (Sangwan, 2008), acelerando su estabilización; estos productos orgánicos ricos en ácidos húmicos (Campitelli y Ceppi, 2008) y en microorganismos se denominan como vermicompost (Aguiar *et al.*, 2013; Arancon *et al.*, 2004). El vermicompost es una fuente de fitohormonas, vitaminas, proteínas y de fracciones húmicas (Fernández y Rendina, 2004). Debido a su alta actividad biológica y química el vermicompost es utilizado en suelos con problemas de contaminación por metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y herbicidas, influyendo en la recuperación de la fertilidad (Contreras-Ramos *et al.*, 2007; Tarley y Arruda, 2004; Tejada *et al.*, 2010). Otros trabajos han demostrado su utilización como vehículo para producir biofertilizantes (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008; Padmavathiamma *et al.*, 2008). El vermicompost contiene hasta 8×10^7 unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias, 2.2×10^6 UFC de actinomicetos y 5.1×10^4 UFC de hongos (Durán y Henríquez 2007). Se ha comprobado que el vermicompost, HMA y las RPCV en etapas de

trasplante ayudan en prevenir algunas enfermedades de la raíz y evitan el estrés causado por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.

El vermicompost influye positivamente en la colonización de las raíces por los HMA. Además, los HMA favorecen el crecimiento de las colonias de bacterias, las plantas al ser inoculadas con estos dos microorganismos registran mayor absorción de nutrientes, mayor crecimiento y número de flores (López-Moctezuma *et al.*, 2005; Terry y Leyva 2006). Gómez *et al.* (2008), afirman que el uso de vermicompost en el cultivo de chile tiene un efecto positivo en el desarrollo de la planta y se ve reflejado en el aumento de altura con 48%, los tallos fueron más gruesos, la floración se adelanta hasta en 27% y el rendimiento se incrementa.

Conceptos generales sobre las micorrizas

El término “micorriza” procede del griego “mykos”, hongo y “rhiza”, raíz, su término fue utilizado por primera vez por Frank en el año 1885 y se refiere a la simbiosis mutualista entre un hongo y la raíz de las plantas. Los tipos más comunes de hongos implicados en esta asociación son los micorrízicos arbusculares y los ectomicorrízicos. Los HMA son probablemente los hongos más abundantes que se presentan en los suelos agrícolas, fue hasta mediados del siglo XX cuando comenzó a valorarse la importancia las asociaciones de estos con las plantas, así como su presencia en los ecosistemas (Azcón y Barea, 1997).

Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) pertenecen al Phylum *Glomeromycota* y establecen simbiosis mutualista con la mayoría de las plantas (Schubler *et al.*, 2001; Ortas, 2008 a y b; Willis *et al.*, 2013), se estima que del 85-90% de éstas son colonizadas por los HMA (Smith y Read, 2008; Vie Rheilig *et al.*, 2004). Los HMA son abundantes en los suelos y se estima que 5-10% de la biomasa microbiana del suelo está conformada por estos hongos (Fitter *et al.*, 2011). Esta simbiosis es benéfica en la mayoría de los casos ya que aumenta el crecimiento vegetal y la

absorción de nutrientes relativamente inmóviles como el zinc y fósforo (Smith y Read, 2008; Ortas 2010), en Chile se ha demostrado que aumenta el crecimiento cuando se inocula con HMA (Ortas, 2010). También influye directamente en la protección contra patógenos y fauna herbívora del suelo (Gange y West, 1994; Newsham *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2000, 2004), aumenta la tolerancia a la salinidad, además contribuye en la obtención de agua por la planta lo que incrementa la tolerancia al estrés (Auge, 2004).

Se ha observado que los HMA son los órganos principales de la absorción de nutrientes por las plantas (Bago *et al.*, 2000; Smith y Read, 1997; Willis *et al.*, 2013). Estos hongos forman arbuscúlos, vesículas (en algunas especies) o hifas dentro de las células corticales de las plantas que colonizan (Douds *et al.*, 1995). Los hongos micorrízicos arbusculares no poseen una reproducción sexual conocida, producen esporas de resistencia que se forman sobre las hifas vegetativas, las cuales son multinucleadas; el número de núcleos es variable y puede ser de hasta 20, 000 núcleos por espora (Smith y Read, 2008). Los HMA se consideran como simbioses obligados por lo que solo pueden completar su ciclo de vida en presencia de la planta hospedera. El uso de HMA en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta, sin embargo, la condición de monocultivo y la implementación de fertilizantes, pesticidas y maquinaria para realizar barbechos, subsuelos y rastreos son algunos factores que pueden causar una disminución en la diversidad de HMA, y como consecuencia limitar su efecto benéfico en los hospederos (Alguacil *et al.*, 2008; Álvaro-Fuentes *et al.*, 2008b; Barrer 2009). Esto podría aumentar la pérdida de agregados del suelo y nutrientes por lixiviación y como consecuencia incrementar la erosión del suelo, ya que los HMA ayudan a la formación de agregados del suelo con su red de hifas y liberación de materiales cementantes (Borie *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2008).

Desarrollo de la simbiosis micorrízica

Las principales fuentes de inoculación son las esporas. Estas sobreviven en el suelo cuando las condiciones de temperatura y humedad son favorables, pueden germinar y estimular la formación del micelio. Una vez en contacto con la raíz la entrada ocurre en la epidermis, formando un apresorio, después comienza la colonización del tejido de la raíz internamente (micelio interno) y posteriormente el micelio externo comienza explorar en busca de nutrientes en el suelo (Sánchez, 2007). Los hongos penetran en las células corticales de la raíz y forman estructuras conocidas como arbusculos, los cuales sirven como mediadores para el intercambio de metabolitos entre el hongo y el citoplasma de la célula (Harrison *et al.*, 2002; Oueslati, 2003).

El crecimiento y la productividad de los cultivos puede incrementarse cuando las raíces están micorrizadas, las cuales exploran más volumen de suelo debido a que las hifas se extienden a lugares donde las raíces no pueden llegar y así facilitan la absorción y translocación de más nutrientes que las plantas no micorrizadas (Guo *et al.*, 2010). Latef y He (2011), demostraron que las plantas que viven en simbiosis con los HMA tienen mayor tolerancia a concentraciones altas de salinidad, que cuando no se encuentran micorrizadas, y afirman que los hongos evitan que las sales deshidraten la planta.

Los HMA son biótrofos obligados ya que necesitan del carbono, el cual es generado por la fotosíntesis de la planta, mantener al hongo representa un costo de 4-20% del carbono total de la planta (Smith y Read, 1997), el hongo compensa este gasto al aumentar la eficiencia de absorción de nutrientes en comparación con plantas no micorrizadas (Bago *et al.*, 2000; González *et al.*, 2008; Requena *et al.*, 2007; Wright *et al.*, 1998). Su principal beneficio es el aporte de fósforo para la planta por medio de las hifas (Montaño *et al.*, 2008). Además, se ha estimado que alrededor del 80% del fósforo tomado por una planta micorrizada es suministrado por el hongo (Marschner y

Dell, 1994). Los HMA pueden proporcionar otros macro y micronutrientes como el nitrógeno, potasio, magnesio, cobre y zinc, sobre todo en suelos donde estos nutrientes se encuentran en forma menos disponible (Meding y Zasoski, 2008; Smith y Read, 2008).

Los HMA juegan un papel muy importante en los ecosistemas a través de los ciclos de nutrientes (Shokri y Maadi, 2009; Wu *et al.*, 2011; Yaseen *et al.*, 2012); así mismo contribuyen a mejorar la estructura del suelo mediante la formación de agregados, por medio de la adhesión de partículas debido a una glicoproteína exudada por el micelio llamada glomalina, la cual reduce la erosión y mejora la capacidad de retención de agua (Borie *et al.*, 2008; Guadarrama *et al.*, 2004; Finlay, 2008; Javaid 2009; Rillig *et al.*, 2010; Singh, 2012).

Rizobacterias promotoras de crecimiento (RPCV)

Los microorganismos que colonizan el área de la rizosfera generalmente son bacterias, algas, hongos, protozoos y actinomicetos, y algunos de ellos juegan un papel importante en la mejora del crecimiento de las plantas (Bhattacharyya y Jha, 2012; Saharan y Nehra, 2011). De las diferentes poblaciones microbianas presentes en la rizosfera, las bacterias son las más abundantes (Kaymak, 2010). Varios géneros causan un efecto pronunciado sobre el crecimiento de las plantas y se conocen como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) (Kloepper y Schroth, 1978; Nadeem *et al.*, 2010b).

Estos microorganismos generalmente existen cerca de las raíces debido a la presencia de exudados de la raíz, que utilizan como fuente de nutrientes para su crecimiento y pueden depender de ellos para su supervivencia (Glick *et al.*, 1997; Doornbos *et al.*, 2012; Phillips *et al.*, 2011), estas bacterias son más versátiles en la transformación, movilización, solubilización de los nutrientes en comparación con las bacterias de vida libre del suelo (Hayat *et al.*, 2010).

Las RPCV son atraídas por quimiotaxis basada en compuestos presentes en los exudados radicales. Algunas bacterias pueden penetrar la raíz, por ejemplo *Azospirillum* spp., pueden incluso llegar a penetrar y colonizar los espacios intercelulares, pero no forman estructuras especializadas como ocurre con las leguminosas. Dentro de las bacterias promotoras de crecimiento encontramos a las especies pertenecientes a los géneros: *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Hafnia*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Xanthomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Acetobacter*, *Burkholderia* y *Bacillus* (Barea y Azcón 2004).

Las RPCV afectan el crecimiento de las plantas, de forma directa mediante el suministro de determinados compuestos, que facilitan la asimilación de nutrientes del suelo, o bien pueden actuar de forma indirecta al evitar los efectos deletéreos de organismos fitopatógenos (Ahemad y Kibret., 2014; Glick, 2010; Glick *et al.*, 1995).

Efectos benéficos de las RPCV

Las RPCV pueden provocar cambios drásticos en el crecimiento de las plantas al producir reguladores de crecimiento y facilitar la absorción de nutrientes del suelo (Zahir *et al.*, 2004). Además, muchas rizobacterias pueden mejorar la tolerancia de las plantas contra la salinidad, sequía, las inundaciones y toxicidad por metales pesados, y por lo tanto, permiten que las plantas puedan sobrevivir en condiciones ambientales desfavorables (Glick, 2010; Ma *et al.*, 2011; Nadeem *et al.*, 2007; Sandhya *et al.*, 2009).

Algunos de los mecanismos que usan las RPCV para promover el crecimiento de las plantas son: fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos, producción de sideróforos, producción de sustancias reguladoras de crecimiento y ácidos orgánicos, así como la liberación de enzimas como ACC-desaminasa, quitinasa y glucanasa (Berg, 2009; Glick *et al.*, 2007; Contreras-Cornejo., *et al.* 2009; Gamalero *et al.*, 2004; Hayat *et al.*, 2010) y de sustancias tales como exopolisacáridos que

ayudan a las plantas a resistir condiciones adversas (Ashraf *et al.*, 2004; Glick *et al.*, 2007; Sandhya *et al.*, 2009).

La eficiencia de las RPCV dependen de las características de la planta-huésped y del suelo (Gamalero *et al.*, 2010), así mismo promueven el crecimiento a través de varios mecanismos directos e indirectos. La promoción del crecimiento directo se lleva a cabo a través de la producción de compuestos benéficos para las plantas hospedantes y por la facilitación de la absorción de los nutrientes del suelo, así como por la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato, producción de sideróforos y fitohormonas (Ahemad y Kibret., 2014; Kloepper *et al.*, 1987; Patten y Glick, 2002).

La promoción del crecimiento indirecto se produce cuando las RPCV previenen o reducen algunos efectos nocivos de patógenos de las plantas por varios mecanismos (Ahemad y Kibret., 2014; Glick, 2010; Glick y Bashan, 1997). Estos incluyen la inhibición de patógenos por la producción de sustancias o mediante el aumento de la resistencia de la planta huésped frente a organismos patógenos (Cartieaux *et al.*, 2003). Por ejemplo, las RPCV pueden producir metabolitos que reducen la población de patógenos y/o producir sideróforos que reducen la disponibilidad de hierro para ciertos patógenos de la planta (Bhattacharyya y Jha, 2012). Del mismo modo las RPCV pueden también aumentar la resistencia de las plantas contra las enfermedades haciéndolas menos vulnerables al ataque de fitopatógenos (Lugtenberg y Kamilova, 2009; Saravanakumar *et al.*, 2007).

Las RPCV también son catalogadas como agentes de control biológico de patógenos al ser antagonistas e inductoras de resistencia sistémica (Van Loon *et al.*, 1998; Weyens *et al.*, 2009).

Las RPCV con potencial en agricultura deben conjugar tres características: ser capaces de colonizar la raíz, sobrevivir y multiplicarse en los micro-hábitat asociados a la superficie de la raíz,

lugar donde compiten con la microbiota nativa y donde son capaces de estimular crecimiento vegetal (Klopper, 1994). Las RPCV y los HMA son útiles para mejorar el crecimiento de las plantas, particularmente en ambientes estresantes. Varios estudios han demostrado que la aplicación combinada de RPCV y HMA podría tener un potencial en el mejoramiento de la agricultura (Denton, 2007; Najafi et al., 2012; Ordoorkhani et al., 2010).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

1. EXPERIMENTO DE SELECCIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE VERMICOMPOST

Localización del sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México, entre las coordenadas 19°28'4.26" N y 98°53'42.18" O, y a 2,240 m de altitud. El clima es templado con lluvias en verano, la temperatura media anual de 15.9°C y la precipitación media anual de 710 mm.

Material vegetal, siembra en semilleros y transplante

Se utilizó la variedad "Bravos" de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.), la cual fue comprada en la empresa Shamrock Seed Company. Esta variedad se caracteriza por ser precoz a cosecha y con gran tamaño de frutos (14 cm).

Las semillas fueron sembradas en charolas de 200 cavidades usando un sustrato compuesto de peat moss y perlita (1:1 v/v) previamente esterilizado a 18 lb plg⁻² de presión por 3 horas. Las plantas fueron fertilizadas una vez por semana con solución Steiner (aniones 12 mEq NO₃⁻, 1 mEq H₂PO₄⁻, 7 mEq SO₄⁻ cationes 7 mEq K⁺, 9 mEq Ca²⁺, 4 mEq Mg²⁺) diluida en proporción 1:10.

El trasplante se realizó a los 63 días después de la siembra en bolsas de polipropileno de 20 X 30 cm, llenadas con 7 kg de suelo, el cual fue colectado en un terreno agrícola de la localidad de Coatlinchán, Texcoco Estado de México. El suelo colectado se cribó con la finalidad de eliminar piedras y desechos de cultivo. Se trasplantó una planta por cada bolsa y se regó cada tercer día para mantener la humedad durante las primeras semanas de crecimiento, realizando algunas modificaciones conforme fueron creciendo las plantas.

Análisis químico y microbiológico del suelo y el vermicompost

El suelo se analizó en el Laboratorio General de Análisis de Suelo y Planta de la Universidad Autónoma Chapingo. Los datos del análisis se muestran en el Cuadro 3. El suelo fue alcalino ligeramente alto, sin embargo, adecuado para el cultivo del chile jalapeño (Castellanos *et al.*, 2000).

El análisis químico del vermicompost se realizó en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, este material orgánico proviene de una mezcla de estiércol bovino y residuos de maíz; el contenido de nitrógeno del vermicompost fue muy alto con 13.7 % y de fósforo 17.0 %.

Cuadro 3. Características químicas del suelo utilizado.

Características	Valor	Interpretación
pH (1:2 H ₂ O)	8.15	Alcalino
Materia orgánica (Walkley y Black) %	1.61	Bajo
Nitrógeno ppm	26	Bajo
Fósforo (Olsen) ppm	23.03	Medio
Potasio (NH ₄ O Ac) ppm	830	Alto
Arena %	71.5	
Textura		
Limo %	20	Franco-arenoso
Arcilla %	8.5	

Se realizó un análisis microbiológico del suelo y del vermicompost (VC) con el objetivo de conocer el número de microorganismos que contienen. Se usó el método de diluciones y cuenta viable para cuantificar hongos, bacterias totales, bacterias solubilizadoras de fosfato y productoras de auxinas. Los medios específicos utilizados fueron: Papa Dextrosa Agar para hongos, Agar Nutritivo para bacterias totales, Pikovscaya para solubilizadores de fosfatos y Luria-Bertani más Reactivo de salkovski para productores de auxinas (Cuadro 4).

En el caso particular de las colonias crecidas en el medio Luria-Bertani (LB) se tomaron muestras y sembraron en microplacas de 96 pozos (microplates Costar 3591, Corning, NY) que contenían medio líquido LB y se incubaron por 48 h; después se adicionaron 100 μ L de solución Salkowski (2% de FeCl_3 0.5 M en ácido perclórico al 35%) y se incubó por 30 minutos en oscuridad. Cambio de color amarillo a rosa o rojo indica producción de auxinas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis microbiológico del vermicompost y suelo utilizado.

	Solubilizadoras de fosfatos	Productoras de auxinas
Suelo	1.3×10^5 UFC g^{-1}	1×10^2 UFC g^{-1}
Vermicompost	2×10^6 UFC g^{-1}	1×10^4 UFC g^{-1}

Tratamientos y diseño experimental

Se establecieron 7 tratamientos, consistieron en cuatro dosis de vermicompost equivalente a 0.5, 1, 2 y 3 t ha^{-1} , y dos dosis de fertilización mineral de N-P-K, una de ellas equivalente a 30-8.5-48 kg ha^{-1} y la otra equivalente a 60-17-96 kg ha^{-1} , el testigo no incluyó vermicompost ni fertilización. En el (Cuadro 5), se muestran los tratamientos de dosis de vermicompost, fertilización química y el testigo con las cantidades de nitrógeno aportado en kg ha^{-1} .

Cuadro 5. Tratamientos y nitrógeno aportado por hectárea

Clave de Tratamiento	Tipo de fertilizante	Dosis (kg ha ⁻¹)	Vermicompost (g kg ⁻¹ suelo)	Contenido de nitrógeno (kg ha ⁻¹)
T1	Vermicompost	500	0.25	6.85
T2	Vermicompost	1000	0.5	13.7
T3	Vermicompost	2000	1	27.4
T4	Vermicompost	3000	1.5	41.1
T5	Inorgánico	30-8.5-48	0	30
T6	Inorgánico	60-17-96	0	60
T7	Testigo	-	0	0

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 5 repeticiones por tratamiento, teniendo un total de 35 unidades experimentales.

Fertilización química

La fertilización se llevó a cabo durante el desarrollo del cultivo, fertilizando manualmente a las plantas de chile jalapeño; en el (Cuadro 6) se muestra la secuencia con la cual se fertilizó y las dosis de nutrientes aplicados durante el ciclo del cultivo.

Cuadro 6. Fertilización de chile jalapeño durante el ciclo del cultivo (basado en Azofeifa y Moreira 2008).

Fertilizante		40dds (z)	68dds (y)	82dds (x)	96dds (w)	110dds (v)	124dds (u)	152dds (t)	Total	Requisito
N	%	8	12	29	13	10	28			
	kg ha ⁻¹	5	7	17	8	6	17		60	60
P ₂ O ₅	%	3	7	20	10	10	10	40		
	kg ha ⁻¹	0.5	1	3.5	1.7	1.7	1.7	7	17	17
K ₂ O	%	6	12	27	17	7	22	9		
	kg ha ⁻¹	6	11	26	16	7	21	8.6	95.6	96
MgO	%	6	12	28	20	6	28			
	kg ha ⁻¹	1	1.5	3.3	2	1	3.4		12.2	12
S	%	4	5	22	11	4	54			
	kg ha ⁻¹	1	1.2	5.5	2.7	1	13.4		24.8	25
CaO	%	3	7	16	12	10	20	32		
	kg ha ⁻¹	1.3	3.1	7	5.4	4.5	9	14.4	45	45

- (z) Al trasplante.
- (y) Inicio de floración.
- (x) Fructificación temprana, Floración intensa.
- (w) Máxima floración y abundancia de fruta pequeña.
- (v) Últimas flores, fruta de diferentes tamaños.
- (u) No hay flores, poco crecimiento vegetativo, frutos grandes y medianos.
- (t) Floración intensa en segundo ciclo, frutos grandes y medianos.

Se fertilizó siempre por las mañanas, posteriormente se agregó agua para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, en etapas de floración y fructificación debido a que los requisitos hídricos del cultivo fueron mayores.

Control de plagas y enfermedades

Las plagas que se presentaron en el cultivo fueron: Pulgón (*Mizus Persicae*), de forma esporádica y principalmente en etapas tempranas del cultivo, y mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) durante el desarrollo del cultivo. Los trips (*Franquiniela occidentalis*) se presentaron en floración y llenado de frutos. Para el control de estas plagas se utilizaron insecticidas sistémicos y de contacto, los cuales se aplicaron directamente al follaje y la dosis fue la siguiente:

*Imidacloprid (300 g ha^{-1}): la primera dosis se aplicó al trasplante, la segunda y tercera a los 25 y 60 días después del trasplante (ddt) respectivamente.

*Lambda cyalotrina (300 mL ha^{-1}): se aplicó una dosis a los 35 ddt, posteriormente se aplicaron tres dosis cada 10 días.

Variables evaluadas

Se midió altura de planta (con una cinta métrica, tomando en cuenta a ras del suelo hasta el meristemo apical), diámetro de tallo (se realizó con un vernier y los datos de medición fueron en milímetros) y número de hoja (cuenta manual) al final del experimento. La tasa de fotosíntesis se determinó con un medidor portátil marca PP Systems modelo CIRAS II. Esta variable se midió en

una hoja joven totalmente expandida; las condiciones dentro de la cámara fueron: densidad de flujo de fotones de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y concentración de CO_2 de 450 ppm; las mediciones se realizaron durante la mañana a temperatura ambiente entre 24 y 28 °C.

La cosecha se realizó a las 118 ddt, Se cortó la parte aérea en la base del tallo y se separaron cuidadosamente las hojas; por conteo manual se obtuvo el número de hojas. Se midió el área foliar usando un medidor de área marca LICOR LI 3100. Se determinó el peso seco de la raíz, la cual se extrajo de las bolsas bajo un chorro de agua suave para desprender el suelo y usando un tamiz para evitar pérdida de material vegetal, posteriormente el material fue secado en una estufa SHEL LAB durante 3 días a una temperatura de 70°C.

Análisis estadístico

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con 7 tratamientos y cinco repeticiones (0, 0.5, 1, 2, 3 t ha⁻¹ de vermicompost 30 y 60 kg de N ha⁻¹), teniendo un total de 35 unidades experimentales. La comparación de medias se hizo mediante la prueba de LSD ($\alpha= 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

2. EXPERIMENTO DE VERMICOMPOST Y BIOFERTILIZANTES

Localización del sitio experimental

El presente trabajo se llevó acabo en San Gregorio, Municipio de Pajacuarán, Michoacán; con clima templado, lluvias en verano con precipitación pluvial de 700 mm y temperatura media anual de 24.5°C. Se localiza al noreste del Estado, en las coordenadas 20°07' de latitud norte y 102°34' de longitud oeste, a una altura de 1,520 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con las

comunidades de Briseñas y Vista Hermosa, al este con Ixtlán de los Hervores, al sur con Pajacuarán, y al oeste con El Fortín y Cuatro esquinas todos pertenecientes a Michoacán.

Sustrato, caracterización del suelo y fertilizante orgánico

Las semillas fueron puestas a germinar en un sustrato compuesto de peat moss y perlita con una relación de 1:1, previamente esterilizado en autoclave a 18 lb plg^{-2} durante 3 h para evitar la proliferación de microorganismos fitopatógenos en la germinación.

Material vegetal y microbiológico

Se utilizó la variedad de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) “Bravos” de la empresa Shamrock Seed Company, se caracteriza por ser precoz a cosecha y tiene gran tamaño de frutos (14 cm). El consorcio de HMA usado se obtuvo del Laboratorio de Microbiología del Colegio de Postgraduados, el cual consistió en sustrato con 21 695 esporas en 100g de suelo. La cepa de RPCV usada fue *Pseudomonas tolaasii* P61 obtenida del mismo laboratorio. Esta cepa se propagó en caldo nutritivo por 72 h. Antes de usarse el inóculo bacteriano se centrifugó a 7000 rpm por 15 minutos, posteriormente se eliminó el sobrenadante y se resuspendió en agua destilada, el proceso se repitió dos veces más. La concentración del inóculo fue de 2.5×10^8 UFC mL^{-1} , la cual se determinó por la técnica de diluciones y cuenta viable.

Siembra en semilleros e inoculación

Se usaron semilleros de 30 cavidades que se llenaron con un sustrato compuesto de peat moss y perlita en una relación 1:1, previamente esterilizada en autoclave a 18 lb por 3 h. En el caso de tratamientos con HMA a cada cavidad se le adicionó 5 g de consorcio micorrízico con 21695 esporas por 100 g. Primero se colocó un poco de sustrato, después, los 5 g de inóculo y

posteriormente se completó con sustrato. En todos los semilleros se colocó una semilla por cavidad (Figura 2).



Figura 2. Siembra de semillas de chile jalapeño en semilleros.

Los tratamientos de RPCV fueron inoculados hasta la emergencia de las plántulas, esto es, a los 15 ddt aplicando directamente a las plántulas 1.5 mL de inóculo bacteriano y realizando una segunda aplicación de 1 mL a los 30 ddt.

Las plántulas de todos los semilleros fueron regadas con agua destilada de acuerdo a sus necesidades. Además, se les aplicó solución nutritiva Steiner (aniones: 12 mEq NO_3^- , 1 mEq H_2PO_4^- , 7 mEq SO_4^- ; cationes: 7 mEq K^+ , 9 mEq Ca^{2+} , 4 mEq Mg^{2+}), la cual fue diluida al 10% de su concentración original. La solución nutritiva se aplicó una vez por semana.

Análisis químico del suelo

El suelo utilizado en el experimento proviene de la región de San Gregorio, municipio de Pajacuarán Michoacán, localizado al noreste del Estado, en las coordenadas 20°07' de latitud norte y 102°34' de longitud oeste, a una altura de 1,520 metros. Una muestra del suelo se envió al

Laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados para su análisis físico-químico, en el **Cuadro 7** se presentan los resultados del análisis.

Cuadro 7. Analisis químico del suelo para el segundo experimento

Cuadro 3. Características químicas del suelo utilizado.

Características	Valor	Interpretación
pH (1:2 H ₂ O)	8.6	Alcalino
Materia orgánica (Walkley y Black) %	2.2	Medio
Nitrógeno (KCl 2 N) %	0.15	Normal
Fósforo (Olsen) ppm	6.0	Bajo
Potasio (cmoles+Kg ⁻¹)	2.2	Bajo
Arena %	24	
Textura Limo %	18	Arcilloso
Arcilla %	58	

Llenado de bolsas y trasplante

Bolsas de 40 X 40 cm calibre 400 a las cuales se les realizó perforaciones en la parte inferior para el drenado del agua, y se llenaron con 20 kg de suelo que previamente descrito. Se tamizó el suelo para eliminar piedras y residuos vegetales. El vermicompost y fertilizante (urea) se mezclaron con el suelo antes de llenar las bolsas. En todas las bolsas se adicionó agua para humedecer el suelo previo al trasplante. Las plántulas se extrajeron cuidadosamente de los semilleros sin dañar la raíz y se trasplantó una por cada bolsa a los 50 días después de la siembra.

Tratamientos y diseño experimental

Se estudiaron tres combinaciones: biofertilizantes, vermicompost y fertilizante. La combinación biofertilizante incluyó cuatro tipos: hongo endomicorrízico arbuscular (HMA), rizobacterias promotoras de crecimiento (RPCV), la combinación de ambos y un testigo sin inocular; la combinación de vermicompost fue: con y sin vermicompost; y la combinación fertilizante incluyó:

con y sin. La dosis de vermicompost usada fue de 1 t ha⁻¹ y la de fertilizante químico 240 kg ha⁻¹ de urea. La combinación de los niveles de los tres factores resultó en 16 tratamientos y cada uno incluyó 5 repeticiones (Cuadro 8). El experimento se llevó a cabo en un diseño experimental completamente al azar con 16 tratamientos y 5 repeticiones. En total se tuvieron 80 unidades experimentales.

El experimento se regó con agua de la llave con un pH de 7.8 según las necesidades del cultivo, realizándolo manualmente por las mañanas.

Cuadro 8. Combinaciones de estudio entre los tratamientos

Biofertilizante	Repetición	Vermicompost		Fertilizante	
		Con	Sin	con	Sin
HMA	5	X	-	X	-
HMA	5	X	-	-	X
HMA	5	-	X	X	-
HMA	5	-	X	-	X
RPCV	5	X	-	X	-
RPCV	5	X	-	-	X
RPCV	5	-	X	X	-
RPCV	5	-	X	-	X
HMA + RPCV	5	X	-	X	-
HMA + RPCV	5	X	-	-	X
HMA + RPCV	5	-	X	X	-
HMA + RPCV	5	-	X	-	X
TESTIGO	5	X	-	X	-
TESTIGO	5	X	-	-	X
TESTIGO	5	-	X	X	-
TESTIGO	5	-	X	-	X
TOTAL u.e.	80				

x. Sí

-. No

Fertilización química

La fertilización se realizó con urea a una dosis de 240 kg ha⁻¹, se fracciono la dosis en tres aplicaciones de 80 kg ha⁻¹ cada una. La primera al momento del trasplante, la segunda a los 40 ddt y la última se realizó a 80 ddt. Las fertilizaciones posteriores al trasplante se efectuaron por la mañana, realizando cuatro pequeños agujeros donde se aplicó la dosis correspondiente de urea y se taparon con suelo para evitar pérdidas por volatilización, y posteriormente se aplicó agua. Algunas plantas presentaron efectos de toxicidad por la urea, las hojas se necrosaron de los bordes en las hojas superiores.

Control de plagas y enfermedades

Durante el ciclo del cultivo se presentaron problemas con insectos chupadores y larvas de lepidóptera. Los insectos que se presentaron con mayor frecuencia fueron: mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), trips (*Franquiniella occidentalis*), paratrioza (*Paratrioza cockerelli*), pulgón (*Myzus persicae*), minador de la hoja (*Liriomyza spp.*) y gusano soldado (*Spodoptera exigua*). Al establecerse el cultivo en campo abierto estuvo expuesto a estos insectos, para su control se llevó a cabo un programa de aplicaciones de insecticidas de diferentes modos de acción para evitar resistencia de los insectos, como se especifica en el (Cuadro 9).

Cuadro 9. Insecticidas utilizados durante el desarrollo del cultivo de chile jalapeño.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis mL ha ⁻¹	Fecha de aplicación	observaciones
Confidor SC*	350 Imidacloprid	300	30-08-2014	Se aplicó al momento del transplante, para evitar insectos como mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i>), pulgón (<i>Myzus persicae</i>), se aplicó en drench (dirigido al tallo de la planta).
Actara WG*	25 Thiametoxam	300	15-09-14 17-10-14	Se realizaron las aplicaciones para el control de (<i>Bemisia tabaci</i>), pulgón (<i>Myzus persicae</i>), paratrioza (<i>Paratrioza cockerelli</i>), asperjado al follaje.
Arrivo CE*	200 Cypermetrina	400	22-09-14 25-10-14	Se realizaron para el control de trips (<i>Franquiniella occidentalis</i>), gusano soldado (<i>Spodoptera exigua</i>) y pulgón (<i>Myzus persicae</i>) asperjado al follaje.
Lorsban 480*	Clorpirifos étil	1000	30-09-14 30-11-14	Se realizaron para el control de minador de la hoja (<i>Liriomyza spp.</i>), Gusano Soldado (<i>Spodoptera exigua</i>) paratrioza (<i>Paratrioza cockerelli</i>) asperjado al follaje.
Karate Zeon 5 CS*	Lamda cyalotrina	250	10-10-14 3-11-14	Se utilizó para el control de (<i>Bemisia tabaci</i>), pulgón (<i>Myzus persicae</i>), paratrioza (<i>Paratrioza cockerelli</i>) y trips (<i>Franquiniella occidentalis</i>) asperjado al follaje.
Regent 4 SC*	Fipronil	80	11-11-14 18-11-14 26-11-14	Se utilizó en el control de trips (<i>Franquiniella occidentalis</i>).
Muralla Max*	Imidacloprid y Betacyflutrin	250	20-11-14 8-12-14	Se utilizó para el control de (<i>Bemisia tabaci</i>), pulgón (<i>Myzus persicae</i>), paratrioza (<i>Paratrioza cockerelli</i>) y trips (<i>Franquiniella occidentalis</i>) asperjado al follaje.

*Todos los productos son marcas registradas.

El insecto conocido como paratrioza (*Paratrioza cockerelli*) fue un problema recurrente durante el cultivo, debido que el chile es muy susceptible a este insecto y causa daños irreversibles en el cultivo, por lo cual el combate con insecticidas fue muy intensivo, con el objetivo de evitar daños en el cultivo. También se utilizó detergente (Vel Rosita) a una dosis de 2 L ha⁻¹ asperjado al follaje para su control de *Paratrioza cockerelli* y así evitar que generara resistencia a los insecticidas utilizados.



Figura 3. Adulto de *Paratrioza cockerelli* en hoja del cultivo de chile (Ríos-Pérez 2014).

No se presentaron problemas por enfermedades durante el desarrollo del cultivo, sin embargo se realizaron aplicaciones preventivas con un producto de contacto. Se usó Captan 50 Ph (ingrediente activo Captan) y se aplicó tres veces durante el desarrollo del cultivo, la primera a los 30 días ddt, la segunda a los 60 ddt y la tercera a los 85 ddt, a una dosis de 2 kg ha⁻¹ asperjado al follaje.

Variables evaluadas

Variables de desarrollo

Se midió altura de las plantas, diámetro de tallo y número de hojas al final del experimento, número de frutos, peso fresco de frutos por corte y peso fresco total de frutos.

Para la variable altura se tomó como punto de referencia el meristemo más alto hasta la base del tallo, esta actividad se realizó con una misma cinta métrica en todas las medidas.

Las plantas se cosecharon a los 117 ddt. Se cortó la parte aérea en la base del tallo y se separaron cuidadosamente las hojas; se midió el área foliar usando un medidor de área marca LICOR LI 3100. Los frutos se separaron de los tallos, se contaron y pesaron en fresco con una balanza digital Marca OHUAUS Corp. Pine Brook, NJ, modelo ARA 520. Posteriormente la parte aérea (hojas y ramas), los frutos y las raíces se secaron en la estufa marca SHEL LAB modelo CE5F a 70 °C hasta peso constante para cuantificar biomasa seca.

Análisis nutrimental de fósforo y nitrógeno en las plantas

Se determinó fósforo y nitrógeno total en el fruto y follaje. La preparación de las muestras foliares y frutos se tuvo el siguiente proceso: se colectaron las hojas se colocaron en bolsas de papel de estraza lo mismo se realizó con los frutos, se colectaron los frutos por planta y se colocaron en bolsas de papel estraza y se colocaron en la estufa para secar a 70°C, donde se mantuvieron 72h, una vez deshidratadas las muestras se procedió a su molienda.

La determinación de fósforo se llevó a cabo con una muestra de 0.25 g, pesado en báscula de precisión marca Voyager Pro*. La digestión se hizo con 6 mL de ácido nítrico (HNO₃) y ácido perclórico en relación (4:2) aplicados a cada muestra en tubos de vidrio para digestión. Las muestras fueron llevadas a un horno digestor por 40 minutos a 210°C, el digestado se llevó a matraces volumétricos aforándose a 25 mL, se tomó una alícuota de 10 mL y se agregó al matraz

de 50 mL, y se hizo una muestra compuesta por 2.5 vanadato de amonio (NH_4VO_3), 2.5 de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y 2.5 de ácido nítrico (HNO_3) en total 17.5 mL y se aforo a 50 mL con agua destilada y reposada por 30 minutos y se midió en espectrofotómetro a 450 nm (Perkin Elmer).

Para la determinación de nitrógeno total se utilizó la metodología micro- Kjeldhal se pesaron 0.1 g de muestra en la báscula de precisión antes mencionada, la predigestión se realizó con 4 mL de mezcla ácido sulfúrico (H_2SO_4) + ácido salicílico ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$) y se agregó una pizca de mezcla de sulfatos (sulfato de cobre, sulfato ferroso, selenio negro y tiosulfato de amonio) los cuales fueron colocados junto con los 0.1 g de muestra en tubos de ensayo de 50 mL, a esta mezcla se le agregó 1.1 g de catalizador y se colocaron en block digester donde se llevaron hasta 360°C , durante 3 horas. Una vez que la muestra tomó un color blanco, está lista para destilar en el equipo Kjeldhal. Para la destilación del nitrógeno se agregó 20 mL de ácido bórico (H_3BO_3) al 4 % en un matraz Erlenmeyer de 125 mL.

Colonización micorrízica

La raíz se extrajo de las bolsas bajo un chorro de agua suave para desprender el suelo y usando un tamiz para evitar pérdida de material vegetal.

Para evaluar la colonización micorrizica las raíces extraídas al final del ciclo del cultivo (118 ddt) se procesaron mediante la técnica de tinción de Phillips y Hayman (1970), el cual consiste en colocar las raíces en KOH al 10 % a 10 lb plg^{-2} en olla de presión por 10 minutos, enjuagar con H_2O_2 por 10 minutos, enjuagar, HCl al 10 % por 10 minutos, se retira y las raíces se cubren con azul de tripano. El porcentaje de colonización se calculó evaluando microscópicamente la morfología interna de la simbiosis, colocando 25 fragmentos de 1 cm de longitud en un porta objetos adicionando gotas de lactoglicerol, se realizaron tres laminillas por tratamiento y se

observaron al microscopio a 40 X, efectuando tres observaciones equidistantes de manera horizontal el porcentaje de colonización se obtuvo al dividir el número de segmentos colonizados entre el número total de segmentos observados, y el valor fue multiplicado por 100.

Análisis estadístico

Todos los datos obtenidos de las variables de estudio, fueron ordenados y sometidos a su análisis de varianza (ANOVA) utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System for Windows 9.0), se realizaron análisis de varianza para las variables estudiadas y la prueba de comparación de medias LSD ($\alpha=0.05$). La comparación de medias se realizó por factor inoculación, factor fertilización y la combinación de ambos.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. EXPERIMENTO DE SELECCIÓN DE LA MEJOR DOSIS DE VERMICOMPOST

Área foliar

El tratamiento con la dosis de 1 t ha⁻¹ de vermicompost presentó mayor área foliar con 953.5 cm², en comparación con el testigo. Aunque este valor fue ligeramente superior al obtenido en el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de vermicompost, que mostró un área foliar de 872.8 cm² (Figura 4). Se presentó diferencias significativas entre las dosis de vermicompost evaluadas, sin embargo, la dosis 0.5 t ha⁻¹ y 3 t ha⁻¹ de vermicompost mostraron valores más bajos en área foliar en comparación con los otros tratamientos de vermicompost. Los tratamientos de fertilización química de 30 y 60 kg N ha⁻¹ fueron estadísticamente iguales al testigo en relación al área foliar (Figura 4).

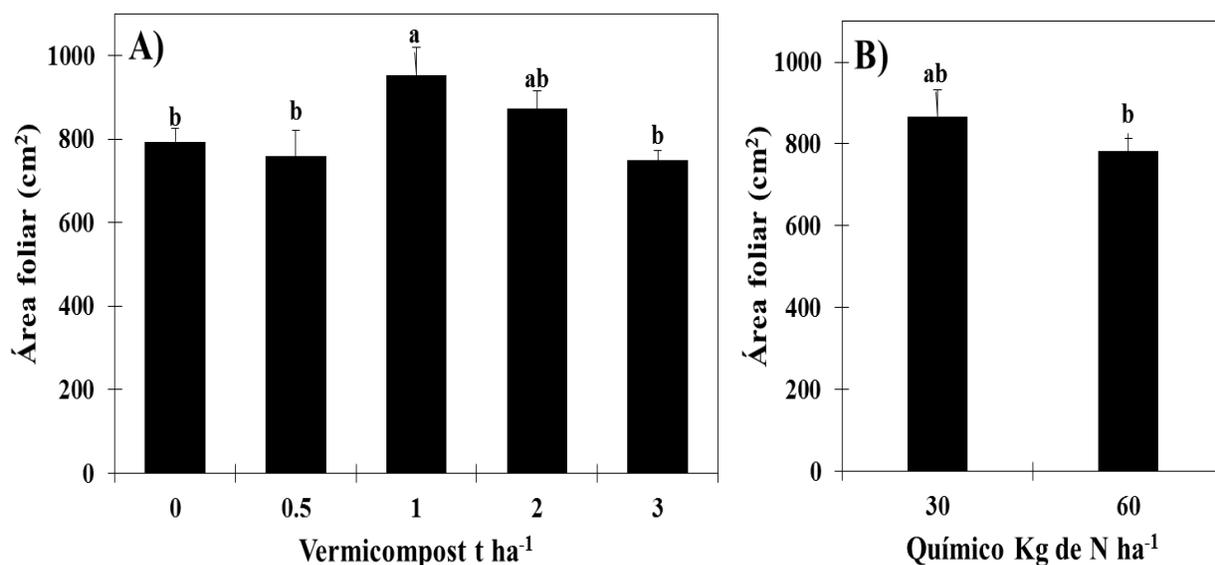


Figura 4. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en el área foliar de chile jalapeño (*Capsicum annuum L*) a 118 días después del trasplante. n=5, Medias \pm error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD, $\alpha=0.05$).

El área foliar es la medida del tejido fotosintético de una planta, ya que determina la cantidad de luz absorbida y convertida en biomasa (Valles *et al.*, 2009). Las plantas con mayor área foliar y en condiciones favorables llegan a ser capaces de utilizar mejor la energía solar con una fotosíntesis más eficiente (Deaquiz *et al.*, 2008).

Con la incorporación de vermicompost se observaron efectos positivos en área foliar, mismos resultados fueron obtenidos por (Azadi *et al.*, 2011) donde señala que con la incorporación de productos orgánicos las plantas mostraron un incremento sustantivo en el área foliar del cultivo del chile.

Peso seco de parte aérea y de raíz

En lo que respecta al peso seco de la parte aérea los tratamientos mostraron diferencias significativas. El tratamiento 1 t ha⁻¹ mostró el mayor peso seco de la parte aérea con 6.14 g, que fue estadísticamente diferente al resto de tratamientos, incluyendo a los fertilizados con 30 y 60 kg N ha⁻¹. El tratamiento con 2 t ha⁻¹ fue menor que el tratamiento de 1 t ha⁻¹, y similar a los tratamientos de 30 y 60 kg N ha⁻¹ (Figura 5); el tratamiento testigo sin fertilizar y sin vermicompost fue estadísticamente igual a los tratamientos de vermicompost y fertilización química a excepción del tratamiento con 1 t ha⁻¹. Esto hace evidente que la aplicación de vermicompost en dosis de 1 t ha⁻¹ tiene la capacidad de promover el desarrollo de las plantas, superando a los tratamientos con fertilización química (Figura 5), esto se puede atribuir a la carga microbiana que contiene, cuya actividad podría aumentar la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo (Oropeza y Russián 2008).

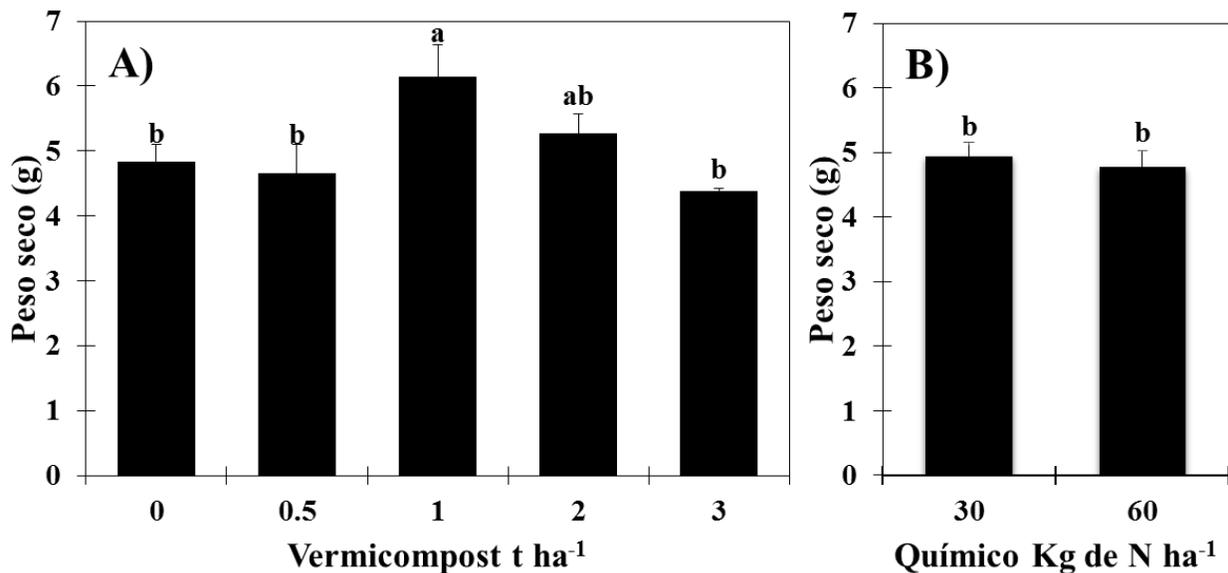


Figura 5. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en peso seco de la parte aérea de chile jalapeño (*Capsicum annuum L*) a 118 días después del trasplante. n=5, Medias \pm error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD, $\alpha=0.05$).

El tratamiento de 1 t ha⁻¹ presentó el mayor peso seco de raíz con respecto a los demás tratamientos (Figura 6).

El tratamiento de 1 t ha⁻¹ de vermicompost fue la única que mostró efectos positivos en las plantas, la dosis con 0.5 t ha⁻¹ y la dosis con 60 kg de N ha⁻¹ mostraron los valores más bajos. Sánchez-Monedero *et al.*, (2004) encontraron que al adicionar vermicompost al cultivo de chile jalapeño obtuvieron un aumento significativo en peso fresco y seco foliar, y peso radical. También Arancon *et al.*, 2005 mencionan que al utilizar vermicompost aumentan el área foliar y en la biomasa de la parte aérea.

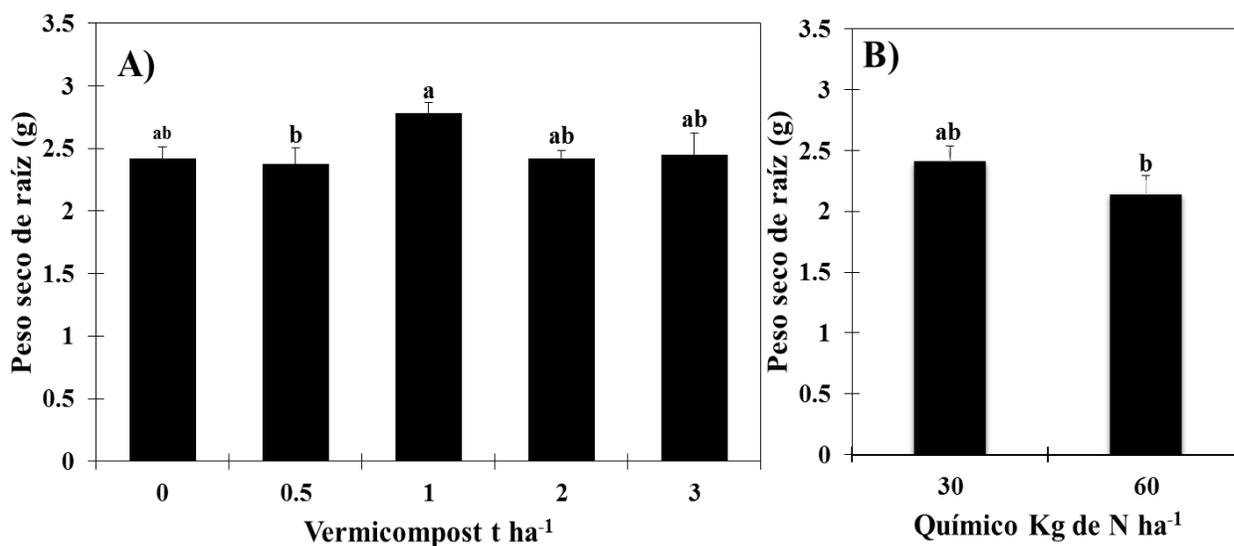


Figura 6. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en el peso seco de la raíz de chile jalapeño (*Capsicum annuum L*) a los 118 días después del trasplante. n=5. Medias \pm error estándar. Barras con letras idénticas son estadísticamente iguales (LSD, $\alpha=0.05$).

Número de hojas

El tratamiento con la dosis de 0.5 t ha⁻¹ presentó el número de hojas más bajo, los demás tratamientos fueron estadísticamente iguales. Los tratamientos con fertilizante químico se

comportaron de manera similar al testigo sin fertilización y sin vermicompost para esta variable (Figura 7).

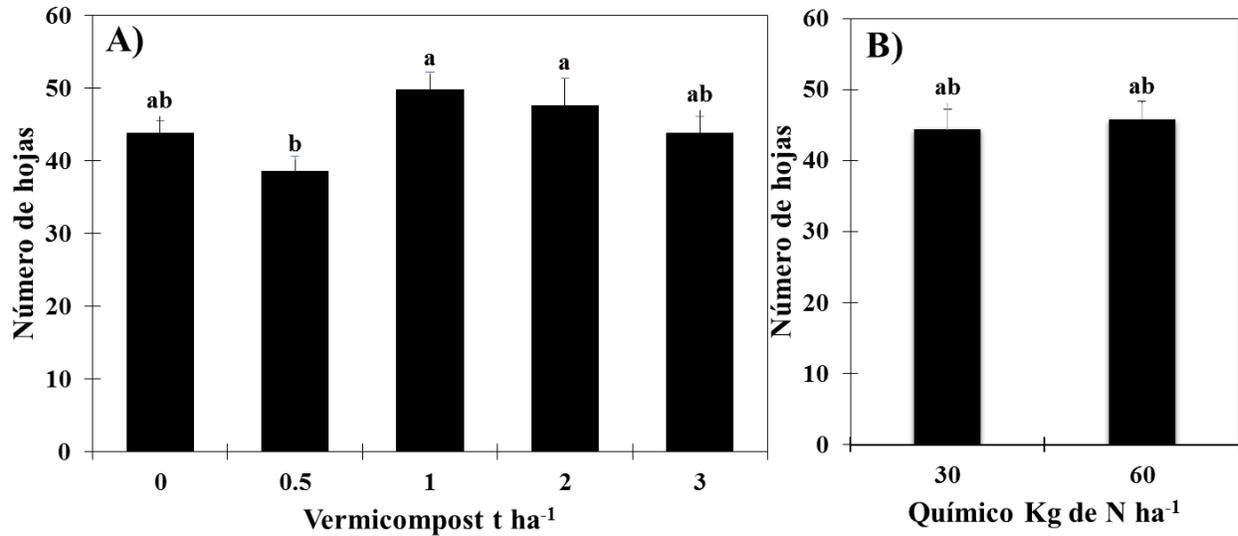


Figura 7. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) fertilizante químico (B) en el número de hojas de chile jalapeño (*Capsicum annuum L*) a los 118 días después del trasplante. n=5, Medias ± error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD, $\alpha=0.05$).

Las hojas son los órganos vegetativos de la planta que poseen la capacidad de realizar la fotosíntesis, lo que da lugar a la producción de energía y biomasa vegetal, es el lugar también donde se produce la mayor parte de la transpiración provocando así el transporte de agua y nutrientes (Hoppe, 2001). El número de hojas está estrechamente relacionado con el área foliar de la planta, su tiempo de aparición está asociado con la velocidad de crecimiento y tamaño final de las plantas (Barraza *et al.*, 2004).

Diámetro de tallo

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para el diámetro de tallo, siendo el tratamiento con 1 t ha⁻¹ el que mostró los niveles más altos con 7.70 mm. Los tratamientos con 0.5,

2 y 3 t ha⁻¹ de vermicompost no presentaron diferencias entre ellos, ni tampoco con los tratamientos fertilizados con 30 y 60 kg N ha⁻¹. El tratamiento que mostró el diámetro más bajo fue el testigo sin aplicación de vermicompost y sin fertilización con 5.50 mm (Figura 8). Una de las principales funciones del tallo es formar y mantener las hojas, entonces al aumentar el tamaño se puede garantizar una mayor acumulación y transporte de solutos (Deaquiz *et al.*, 2008).

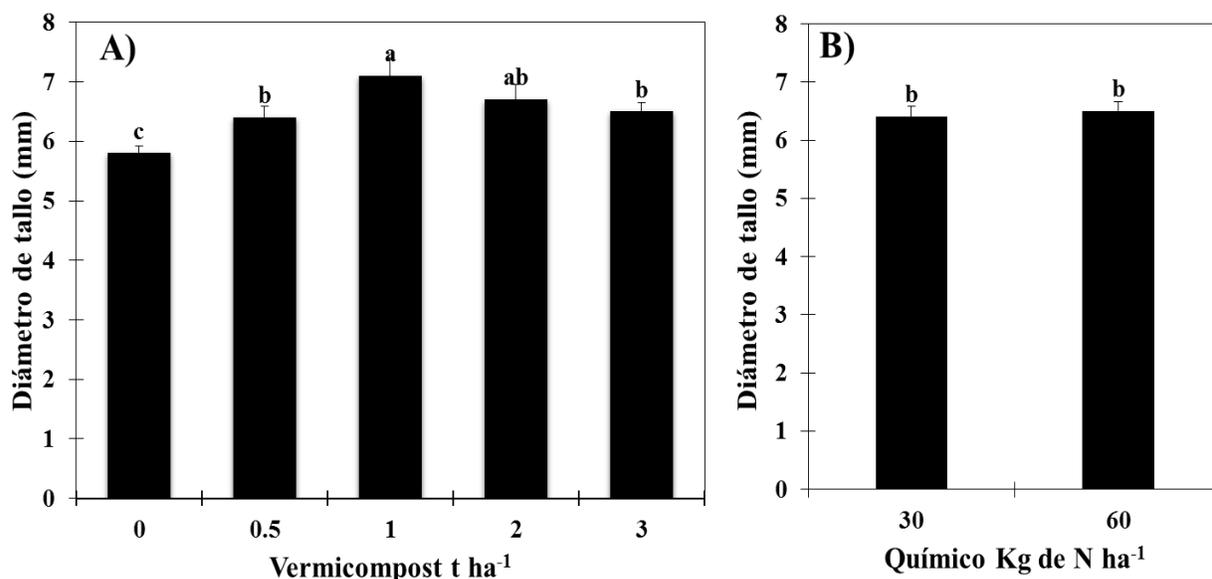


Figura 8. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en diámetro de tallo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L) a los 118 días después del trasplante. n=5, Medias \pm error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD $\alpha=0.05$).

Altura

El tratamiento con 1 t ha⁻¹ tuvo un efecto significativo en la altura de plantas con mayor altura siendo estadísticamente diferente en comparación a todos los demás tratamientos de vermicompost evaluados, incluyendo a los fertilizados con 30 y 60 kg N ha⁻¹, así como el testigo (Figura 9).

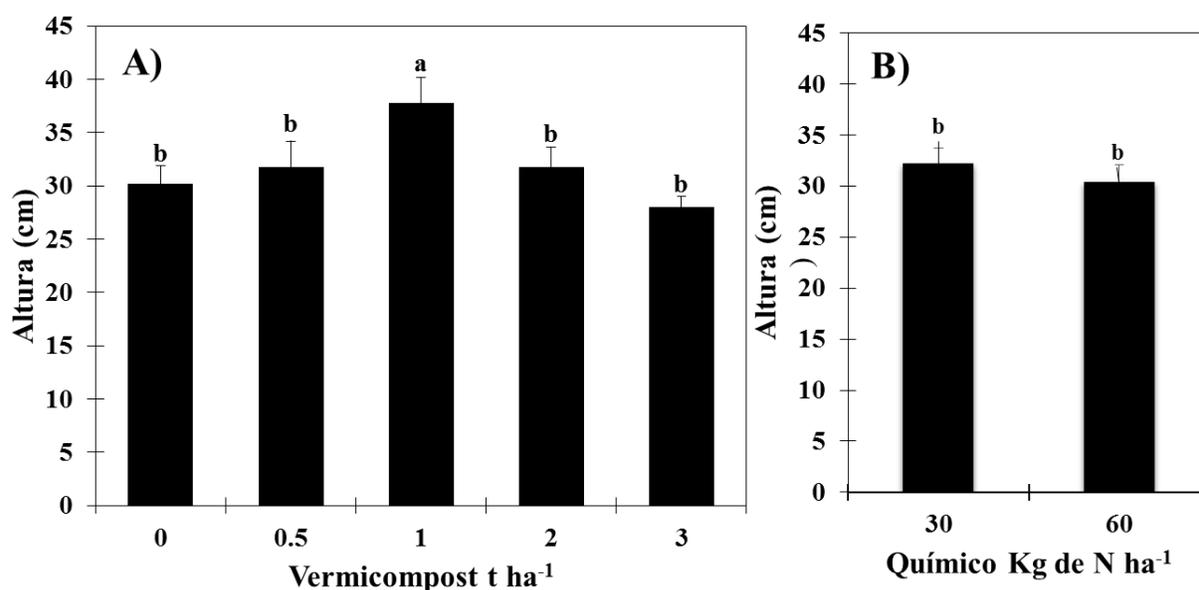


Figura 9. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en la altura de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L) a los 118 días después del trasplante. n=5, Medias \pm error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD, $\alpha=0.05$).

Con la incorporación de vermicompost se observó un efecto positivo en altura del cultivo del chile jalapeño, observando que la mejor dosis fue la de 1 t ha⁻¹ de vermicompost, datos similares fueron encontrados por Gómez *et al.* (2008) donde encontraron que con la incorporación de vermicompost se incrementa hasta un 48% en altura de las plantas evaluadas. De igual forma, Gómez *et al.* (2008) encontró que con la aplicación de abonos orgánicos la altura de la planta se incrementa.

Fotosíntesis de la planta

Los resultados mostraron que los tratamientos con vermicompost tuvieron el mismo efecto que el testigo en la tasa fotosintética, no obstante, el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de vermicompost fue el que presentó una tasa fotosintética numéricamente mayor con 11.34 $\mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Con respecto a los tratamientos fertilizados, estos no mostraron diferencias estadísticas comparadas con los otros tratamientos evaluados (Figura 10).

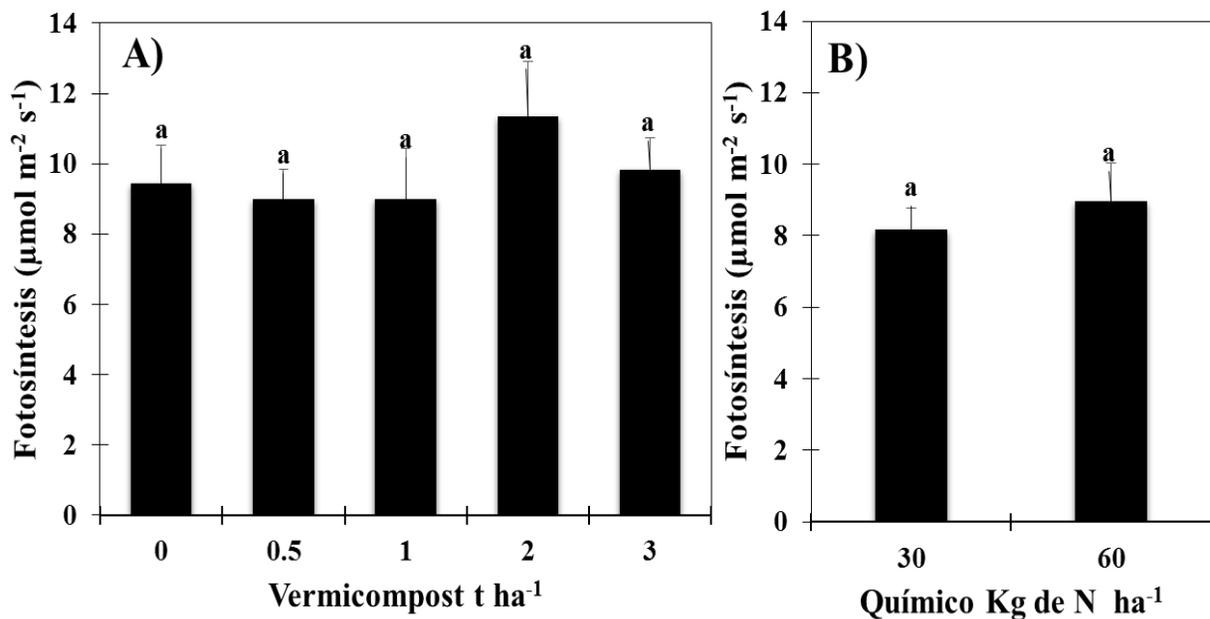


Figura 10. Efecto de la aplicación de vermicompost (A) y fertilizante químico (B) en la tasa de fotosíntesis de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L) a los 65 días después del trasplante. n=5, Medias \pm error estándar. Letras idénticas sobre las barras son estadísticamente iguales (LSD $\alpha=0.05$).

Discusión

Algunos de los resultados encontrados en esta investigación concuerdan con lo obtenido en los trabajos realizados por Manjarrez *et al.* (1999) y Gómez *et al.* (2008), quienes encontraron incrementos en área foliar, peso seco del follaje y radical al incorporar el vermicompost en chile serrano. Resultados similares fueron obtenidos por Moreno *et al.* (2014), donde mencionan que el efecto de vermicompost fue altamente significativo en chile húngaro. Oropeza y Russián (2008) mencionan que en árboles de naranja tuvieron respuestas positivas a la incorporación de diferentes dosis de vermicompost, que condujo a un mayor número de hojas y peso seco de raíz. Nieto-Garibay *et al.* (2002) mencionan que la aplicación de vermicompost en chile habanero incrementó la altura de plantas, respuestas similares obtuvieron García-Sandoval *et al.* (2012) en chile jalapeño

al incorporar vermicompost, quienes encontraron diferencias estadísticas en altura de planta. Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo mencionado, ya que el tratamiento con 1 t ha^{-1} de vermicompost mostró valores altos, incrementando considerablemente las variables estudiadas.

Por su parte Uribe *et al.* (2009) mencionan que la aplicación de vermicompost tiene un efecto positivo sobre el crecimiento del tallo en plantas de chile morrón (*Capsicum annuum L.*), mientras que Sánchez y Ramírez (2009) observaron que la incorporación de vermicompost en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) incrementó el engrosamiento de los tallos, resultados similares fueron reportados por Hernández-Verdugo *et al.* (2008) en cuatro variedades de chile silvestre en el estado de Sinaloa.

Rojas y Ortuño (2007) encontraron en plantas de cebolla y papa altos rendimientos y mayor desarrollo de la planta, con influencia en parámetros como altura de planta, desarrollo radical, mayor vigor y sanidad de las mismas, resultados similares fueron reportados por Moreno-Reséndez *et al.* (2014) en el cultivo de melón en el estado de Coahuila, México.

La aplicación de vermicompost incrementó la respuesta de la planta en la mayoría de las variables evaluadas, se observó que la dosis influyen en el crecimiento del cultivo, tal y como lo menciona Moreno *et al.* (2014). Estas respuestas pueden ser atribuidas a la carga microbiana que contiene el vermicompost, principalmente de bacterias que promueven crecimiento a través de diferentes mecanismos como la solubilización de fosfatos, producción de fitohormonas, fijación de nitrógeno, entre otros; lo que puede reflejarse en el desarrollo de la planta; en esta investigación, se encontró respuesta al vermicompost, pero no a la fertilización, dado que el suelo usado era muy fértil (Cuadro 4). Esto sugiere que la respuesta positiva al vermicompost pudo estar asociada a la comunidad microbiana benéfica presente en ese material orgánico y no a los nutrientes

disponibles (López *et al.*, 2005). En otros estudios el mayor crecimiento de las plantas con dosis de vermicompost se ha atribuido a la disponibilidad de nutrientes presentes en el vermicompost (Raviv *et al.*, 2005 y Sanders *et al.*, 2006). También se ha sugerido que el efecto positivo del vermicompost en el crecimiento de los cultivos se debe a otros factores como aumento de la actividad microbiana, estimulación de metabolitos secundarios y reguladores de crecimiento aportados por el biofertilizante, lo cual puede aumentar la disponibilidad de los nutrientes (López *et al.*, 2005; López Arcos *et al.*, 2012).

Con respecto a los resultados de área foliar, estos concuerdan con los obtenidos por Kalantari *et al.* (2010), quienes encontraron que la adición de vermicompost aumentó el área foliar del cultivo. Por su parte, López *et al.* (2005) encontraron que la adición de vermicompost aumentó la asimilación de fósforo. Este nutrimento interviene en los procesos energéticos, condición que pudo favorecer el incremento de algunas variables. Además, Aram y Rangarajan (2005) mencionan que en los abonos orgánicos del 70 al 80% del fósforo y del 80 al 90% del potasio, están disponibles en el primer año. Cuervo y Rivas (2007) y Manjarrez *et al.* (1999) mencionan que al emplear el vermicompost con hongos micorrízicos en chile serrano aumenta la tasa fotosintética siendo favorable para el cultivo el ser fertilizado con vermicompost. En esta investigación se observó que el tratamiento con 2 t ha⁻¹ de vermicompost mostró los mayores niveles de tasa de fotosíntesis. De igual forma Berova *et al.* (2010) observaron en plantas de pimiento que los tratamientos fertilizados con vermicompost incrementaron significativamente la tasa fotosintética, concordando con los datos obtenidos en este experimento.

La medición de tasa fotosintética se realizó a los 65 ddt, etapa fenológica de la planta en donde se encuentra en pleno desarrollo vegetativo y en plena floración, que es cuando la planta reduce su actividad fotosintética es decir, disminuye la velocidad de fotosíntesis. Al madurar la velocidad

se disminuye y el contenido de azúcares se eleva, la velocidad fotosintética por unidad de área foliar se ve disminuida. También dicha disminución en la actividad fotosintética puede deberse a que la demanda de carbohidratos para la producción de los frutos de la planta, conduce a la disminución de la tasa fotosintética (Tanaka y Yamaguchi 1984).

Conclusiones

El uso de vermicompost al ser aplicado en la dosis de 1 t ha^{-1} y por su carga microbiana mostró mejores resultados en el cultivo de chile jalapeño. Se demostró en las variables evaluadas en donde se puede enfatizar la gran carga microbiana que contiene, influye, ya que modifica la solución del suelo al liberar los nutrientes que se encuentran adsorbidos, principalmente el fósforo, ya que es un elemento esencial para las plantas y en pH alcalinos es difícil de ser asimilado por las raíces de estas. El vermicompost a base de estiércol bovino aumentó el número de hojas, diámetro de tallo, altura de planta, peso seco de raíz y foliar. Por lo cual se concluye que el vermicompost a 1 t ha^{-1} en suelo alcalino y rico en nutrientes cumple con los requerimientos nutricionales del cultivo del chile jalapeño, reflejando en las variables evaluadas, llegando a ser una alternativa de fertilización convencional para los productores de chile jalapeño.

2. EXPERIMENTO DE VERMICOMPOST Y BIOFERTILIZANTES

Altura de planta

La combinación o inoculación con HMA, RPCV y HMA+RPCV mostraron efectos significativos para la variable de altura en planta a los 117 ddt (Figura 11). El tratamiento con fertilización química (urea) no mostró efectos significativos en combinación con la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV), así como con la doble inoculación de HMA+RPVC en comparación con los tratamientos inoculados y sin fertilizar. Las plantas inoculadas con HMA, y HMA+RPCV sin vermicompost y sin urea, superaron al testigo y también al tratamiento inoculado solo con RPCV. El tratamiento inoculado con HMA+RPCV más vermicompost superó a los testigos fertilizados solo con vermicompost. Los tratamientos que alcanzaron mayor altura fueron los inoculados con HMA+RPCV y fertilizados con vermicompost, alcanzando una altura de 41.2 cm en comparación con el testigo absoluto que obtuvo una altura de 29.4 cm al final del experimento (Figura 11). Este incremento puede asociarse a que los HMA promueven el crecimiento de las plantas, debido a que utilizan su micelio externo para adquirir nutrientes y también las rizobacterias influyen en la liberación de ácidos orgánicos los cuales influyen también en la liberación de nutrientes (Ahemad y Kibret., 2014; Guo *et al.*, 2010; Mahmood *et al.*, 2014). Cuando se fertilizó con vermicompost mostró efectos positivos en comparación con urea para todas las combinaciones ya que el vermicompost influye en corregir deficiencias nutricionales y mejora la estructura del suelo (Astier y Hollands, 2005; García-Ruíz *et al.*, 2008; Fliessbach *et al.*, 2007), datos similares fueron presentados por Gómez *et al.* (2008) donde mencionan que al incorporar vermicompost se vio un 48 % más de altura en Chile.

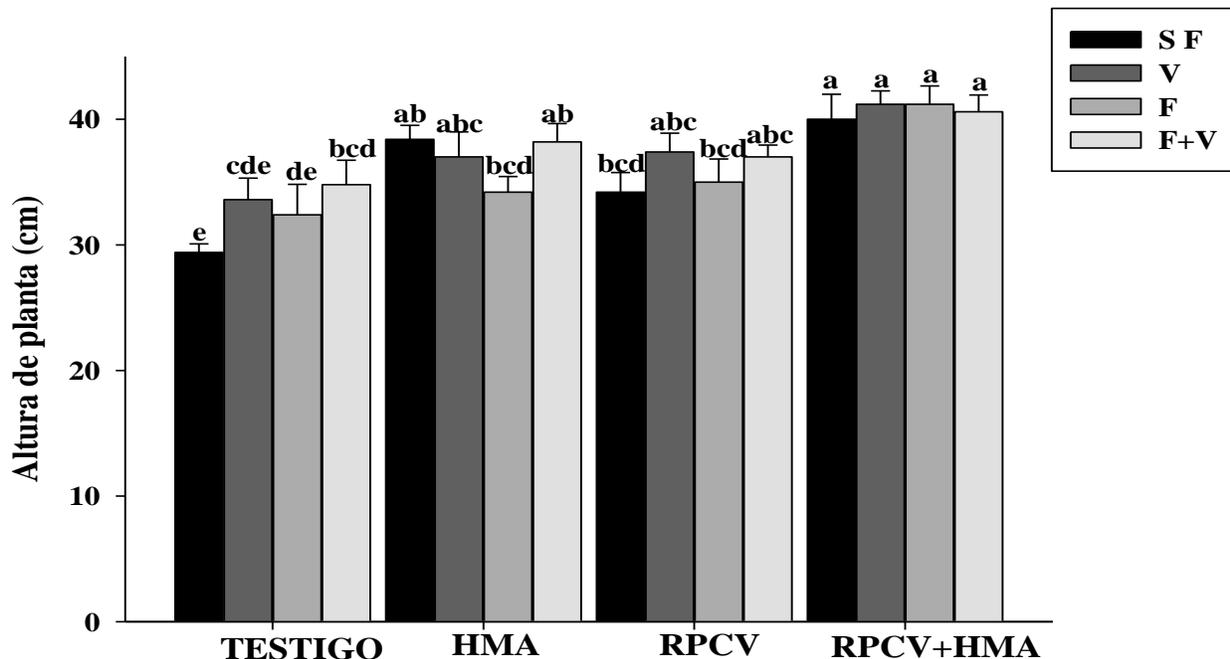


Figura 11. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en altura de las plantas de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Número de hojas

El número de hojas del cultivo del chile jalapeño mostró efectos significativos con los tratamientos que fueron inoculados con HMA, RPCV y HMA+RPCV a los 117 ddt. Los tratamientos inoculados y sin fertilizar superaron al testigo absoluto. El número mayor de hojas se obtuvo con el tratamiento con HMA+RPCV y fertilizado con vermicompost y urea con 78.6 hojas. En general, se observó que en los testigos existió diferencia estadística entre los fertilizados con vermicompost, urea y los fertilizados con vermicompost y urea en comparación con el testigo absoluto. El número de hojas por planta más bajos fue el testigo absoluto con 42.6 hojas al final del experimento (Figura 12). Blessy y Lakshmi, 2013 encontraron resultados similares en cuanto a número de hojas y

crecimiento radical en plantas de *Capsicum annuum* al aplicar vermicompost, en comparación con el testigo y la fertilización inorgánica.

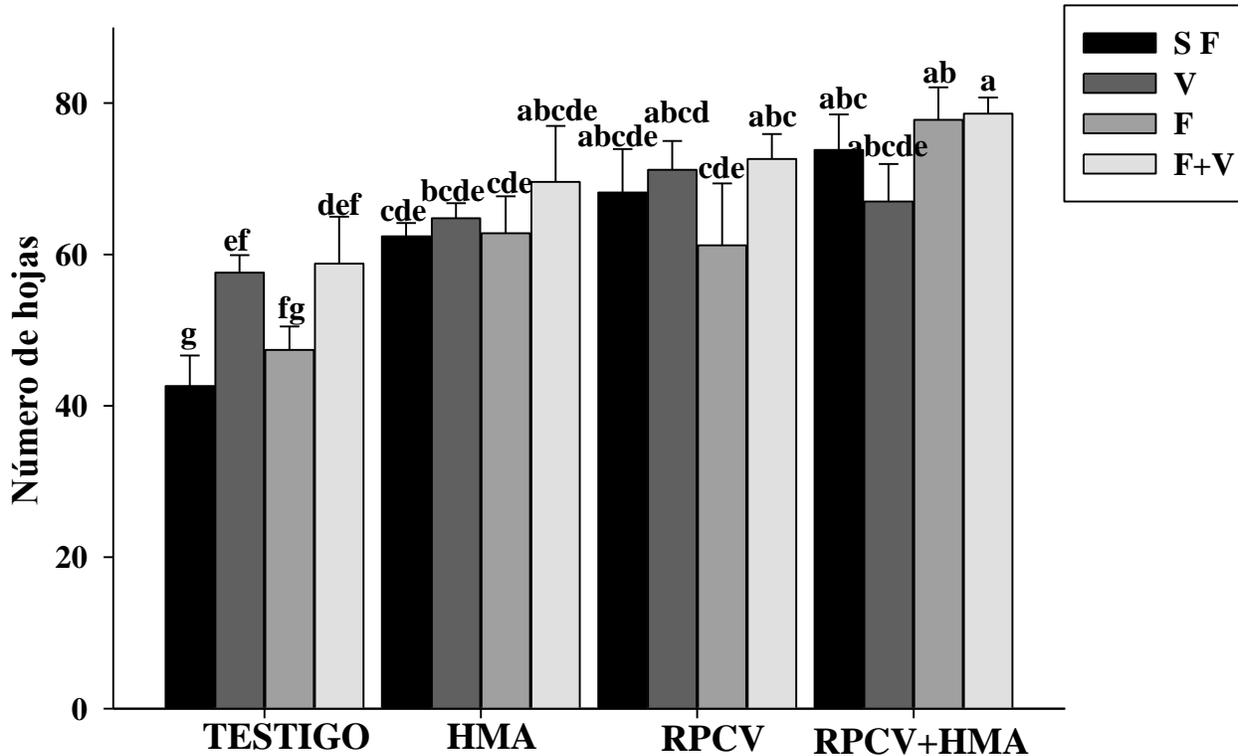


Figura 12. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en número de hojas en las plantas de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización, F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Al aplicar vermicompost se mostró un efecto positivo en el número de hojas, siendo mayor que al aplicar solo el fertilizante químico. Aunado a esto, cuando se complementa el vermicompost y fertilización química el efecto es mayor en el número de hojas (Figura 12). Esto se atribuye a que las plantas inoculadas con HMA, RPCV y HMA+RPCV influyen directamente en la absorción de nutrientes, haciendo más eficiente los procesos de las plantas (González *et al.*, 2008; Requena *et al.*, 2007). También se ha demostrado que las RPCV contribuyen directamente en el desarrollo de las plantas a través de la síntesis de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas (Ahmed

et al., 2014; Capellari *et al.*, 2015), por lo cual los tratamientos con la combinación de HAM+RPCV mostraron los mejores resultados.

Área foliar

En relación al área foliar, se observó que los tratamientos inoculados sin fertilizar superaron al testigo absoluto. En los tratamientos inoculados y fertilizados con vermicompost existió diferencia estadística por efecto de la inoculación de RPCV y RPCV + HMA. En los tratamientos inoculados y fertilizados con urea, el tratamiento inoculado con HMA+RPCV mostró los mejores resultados. Los tratamientos inoculados con RPCV+ HMA y fertilizados con vermicompost y urea superaron a los inoculados solo con HMA, RPCV y testigos sin inocular (Figura 13). El nivel mayor de área foliar se encontró en los tratamientos inoculados con HMA+RPVC y fertilizados con vermicompost y urea los cuales mostraron 1170.29 cm², en comparación con el testigo absoluto con 355.35 cm² (Figura 13).

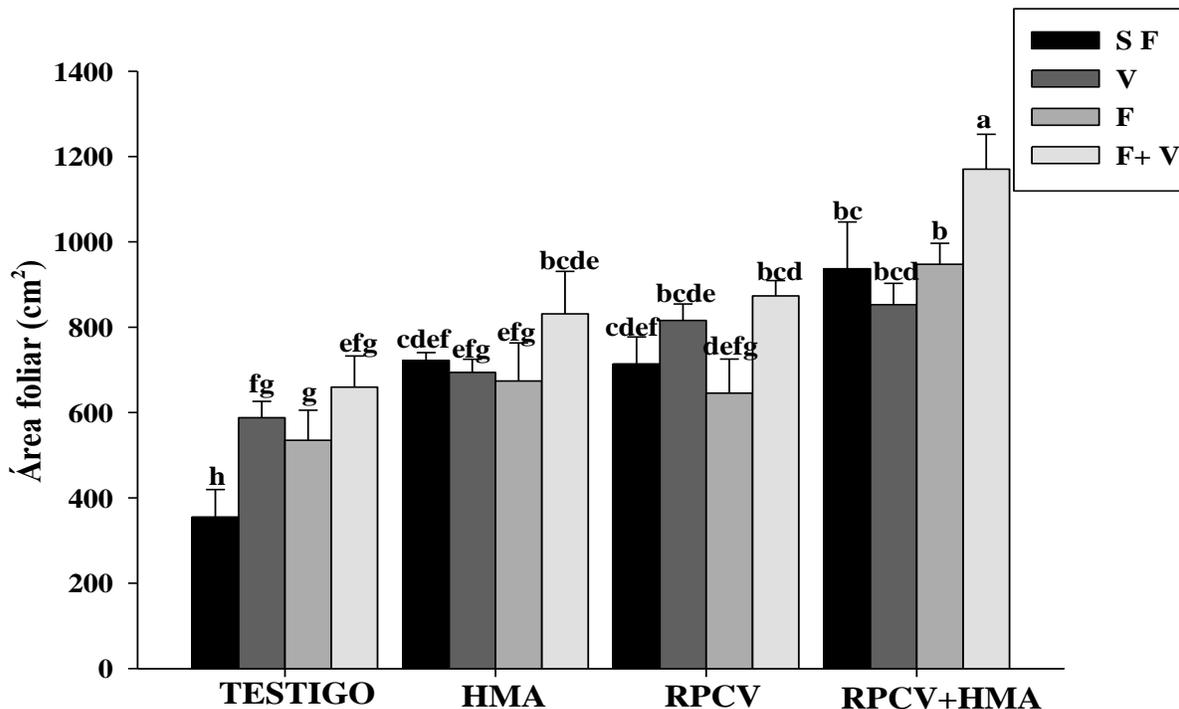


Figura 13. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en área foliar de las plantas de chile jalapeño a los 117 días después del transplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

La inoculación con HMA y HMA+RPCV en área foliar al igual que número de hojas se observaron que los mejores resultados fueron con los inoculados y fertilizados con urea y vermicompost, esto se debe a que la absorción de nutrientes se ve favorecida por los HMA (Ahemad y Kibret., 2014; Guo *et al.*, 2010), haciendo más eficiente los procesos de las plantas (González *et al.*, 2008; Requena *et al.*, 2007). También se ha demostrado que las RPCV contribuyen directamente en el desarrollo de las plantas a través de la síntesis fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas (Ahmed *et al.*, 2014; Capellari *et al.*, 2013), por lo cual los tratamientos con la combinación de HAM+RPCV mostraron los mejores resultados. No existen reportes particulares en esta especie de chile, en cuanto a la aplicación de vermicompost en combinación con HMA o BPCV, no obstante el efecto favorable de la aplicación o inoculación de vermicompost y microorganismos respectivamente, sobre el crecimiento de plantas de chile ha sido estudiado por Russo *et al.* (2006) quienes reportaron que el desarrollo de plantas de pimiento es resultado de la inoculación con algunos microorganismos (HMA y BPCV); Huerta *et al.* (2010) y Oliva-Llaven *et al.* (2014) encontraron beneficios por parte de ambos en plantas de *Capsicum annuum*.

Número de frutos por tratamiento

El número de frutos por tratamiento fue superior en los tratamientos inoculados en comparación a los testigos sin inocular. El tratamiento con mayor número de frutos fue el inoculado con RPCV y vermicompost con 19.4 chiles, existiendo diferencia estadística con el tratamiento inoculado con

HMA y fertilizado con vermicompost 14.6 chiles en promedio, no así con el inoculado con HMA+RPCV y fertilizado con vermicompost 16.2 chiles al final del experimento. Los tratamientos inoculados y fertilizados con urea y fertilizados con vermicompost y urea no mostraron diferencias estadísticas. Los niveles más bajos se encontraron en el testigo absoluto con 7.6 chiles en promedio (Figura 14).

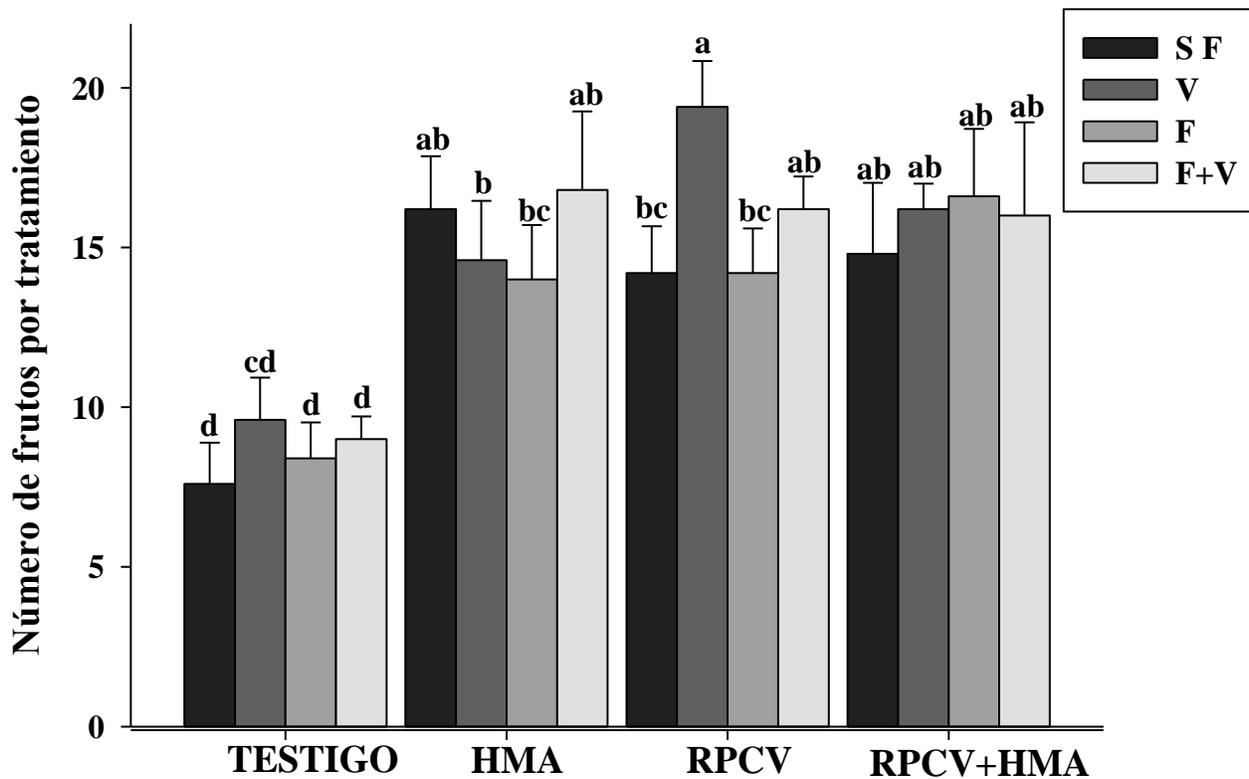


Figura 14. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en número de frutos en las plantas de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V (vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Oliva-Llaven *et al.* (2014) encontraron resultados similares al aplicar vermicompost en plantas de Bell pepper en comparación con las plantas fertilizadas con nitrógeno, esto posiblemente a la capacidad que tienen las lombrices de tierra para consumir una amplia gama de residuos orgánicos

que son depositados en el vermicompost (Hartenstein y Bisesi, 1989; Cavender *et al.*, 2003) y la capacidad del vermicompost para promover la proliferación de organismos simbióticos como estimulador, es decir, micorrización de raíces (Cavender *et al.*, 2003).

Los tratamientos inoculados con HMA presentaron valores superiores a los testigos gracias a que los HMA influyen en proporcionar nutrientes como nitrógeno, fósforo, magnesio, cobre y zinc (Meding y Zasoski, 2008; Smith y Read, 2008). Datos similares encontramos en esta investigación donde se mostró los tratamientos inoculados con HMA mostraron los valores más altos. Los tratamientos inoculados con RPCV mostró valores más alto cuando se combinó con vermicompost, esto se atribuye a que las bacterias solubilizan fósforos, mismos que son indispensables para el buen desarrollo de la planta y por lo tanto buen amarre de flores y desarrollo de frutos (Berg, 2009; Glick *et al.*, 2007; Contreras-Cornejo., *et al.* 2009; Hayat *et al.*, 2010).

Peso fresco de los frutos

Para el peso fresco de los frutos se observó mayor rendimiento en los tratamientos inoculados y fertilizados con vermicompost (Figura 15). Para los tratamientos inoculados y sin fertilizar el tratamiento con HMA+RPCV mostró niveles más altos con 161.46 g y el inoculado con RPCV presentó niveles más bajos con 113.42 g. Al inocular las plantas con HMA, RPCV y HMA+RPCV y se fertiliza con vermicompost se observa un incremento significativo en el rendimiento (Contreras-Cornejo., *et al.* 2009; Hayat *et al.*, 2010), cuando son fertilizados con urea y con urea + vermicompost mostró valores inferiores a los fertilizados con vermicompost esto se puede atribuir a que algunos casos mantener la simbiosis puede ser muy costoso para la planta y causa efectos negativos en el desarrollo (Zubek *et al.*, 2012; An-Dong *et al.*, 2013) y cuando se inocula y no se fertiliza, la misma tendencia se presentó en los testigos (Figura 15). En los testigos sin

inocular se observó que cuando se fertiliza con vermicompost se obtienen mejores resultados en comparación con urea esto se atribuye al vermicompost y su carga microbiana que influyen en la nutrición directamente (Durán y Henríquez 2007; Tejada *et al.*, 2010).

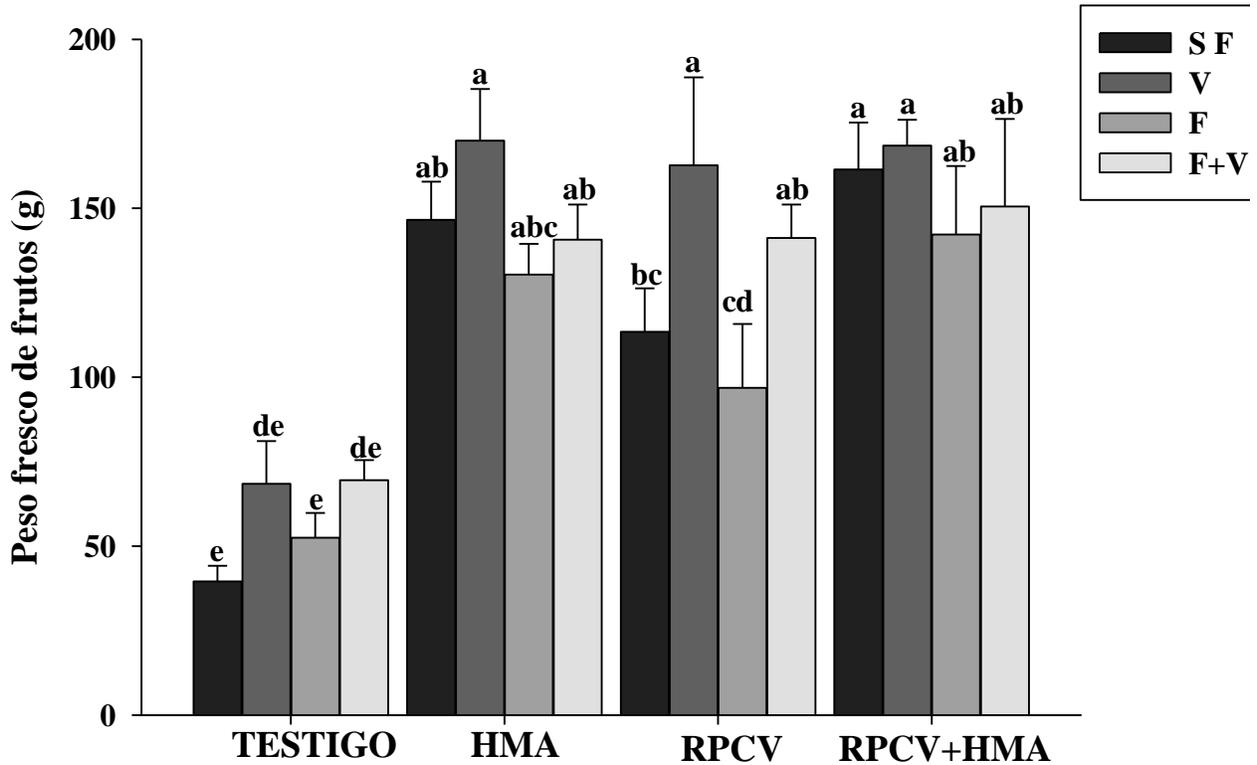


Figura 15. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso fresco de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Peso seco de frutos

Para el peso seco del fruto se observó una tendencia similar al peso fresco. Los tratamientos inoculados con HMA, RPCV y HMA+RPCV se comportaron mejor, sin embargo los fertilizados con vermicompost mostraron los valores más altos, siendo el tratamiento con RPCV y fertilizado con vermicompost fue el que mostró los valores más altos con 22.5 g esto se atribuye a que el

vermicompost es buen vehículo para las RPCV e influyen en darle condiciones favorables para su establecimiento (Gutiérrez-Miceli *et al.*, 2008; Padmavathiamma *et al.*, 2008). Los tratamientos inoculados con HMA y fertilizados con vermicompost y urea mostró los valores más bajos con 13.92 g en comparación con los demás tratamientos inoculados y fertilizados (Figura 16). Los niveles más altos en peso seco se obtuvieron en los tratamientos inoculados con RPCV y fertilizados con vermicompost 22.5 y el nivel más bajo se encontró en el testigo absoluto con 7.6 g se observó el efecto de la fertilización con vermicompost datos similares fueron presentados por Gómez *et al.* (2008) en Chile (Figura 16).

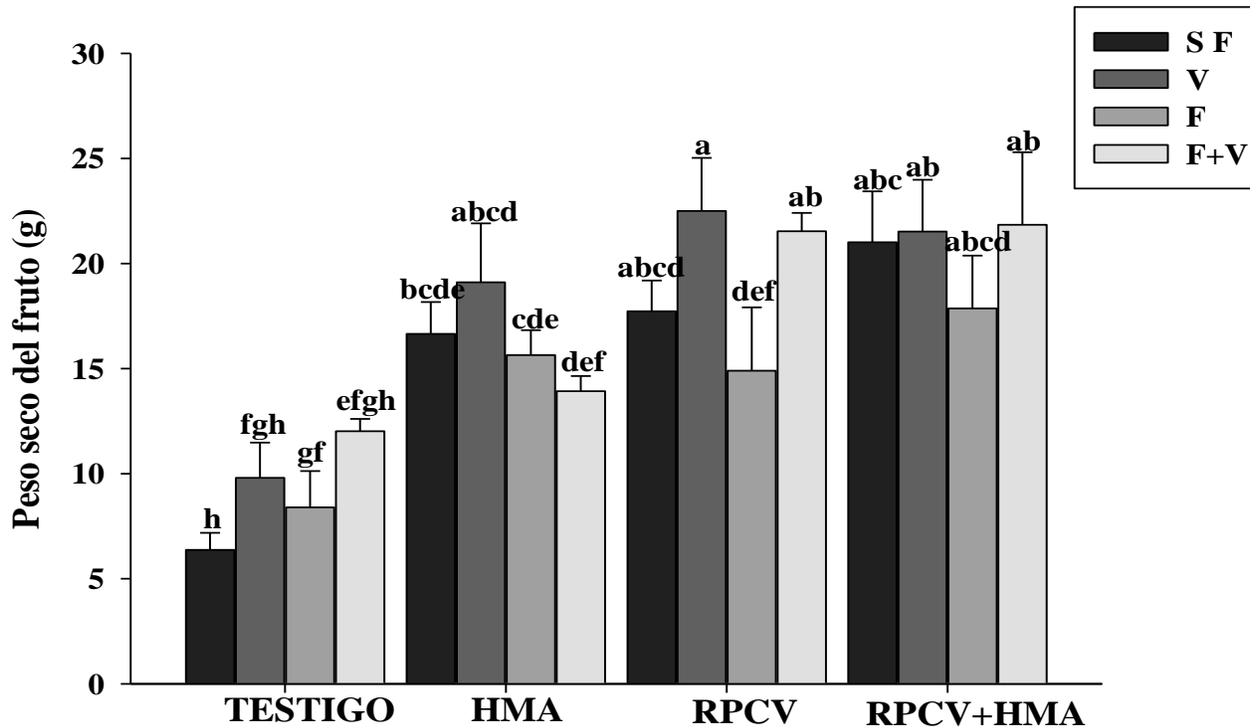


Figura 16. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de Chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Maheswari y Iswarya (2015) nos dicen que fertilizantes con microorganismos son capaces de aumentar la fertilidad del suelo, viéndose reflejado en la altura de la planta, número de hojas, longitud de raíz, número de brotes, peso seco de biomasa, clorofila y componentes bioquímicos. También se puede mejorar el crecimiento de la planta debido a una variedad de factores, incluyendo sus propiedades físico-químicas (Edwards y Borrows, 1988) y la presencia de sustancias biológicamente activas, tales como reguladores de crecimiento de plantas que pueden determinar el crecimiento y reproducción de las plantas (Tomati *et al.*, 1990).

Peso seco de la raíz

Para el peso seco de raíz se observó que los tratamientos inoculados superaron a los testigos. Los tratamientos inoculados con RPCV+ HMA y fertilizados con urea mostraron los valores más altos con 4.62 g, en comparación con los inoculados con HMA, y RPCV. Los inoculados y fertilizados con vermicompost se comportó similar a los inoculados y fertilizados con urea. Los tratamientos inoculados el que mostró los valores más bajos fue el inoculado con HMA y fertilizado con urea y vermicompost con 3.13 g (Figura 17). Para los testigos sin inocular se observó que cuando se fertiliza con vermicompost existe un incremento, sin embargo, cuando se fertiliza con urea el incremento fue mayor. Sin embargo, cuando se fertilizó con urea y vermicompost mostró los valores mayores de los no inoculados con 2.85 g y el más bajo fue el testigo absoluto con 1.47 g (Figura 17).

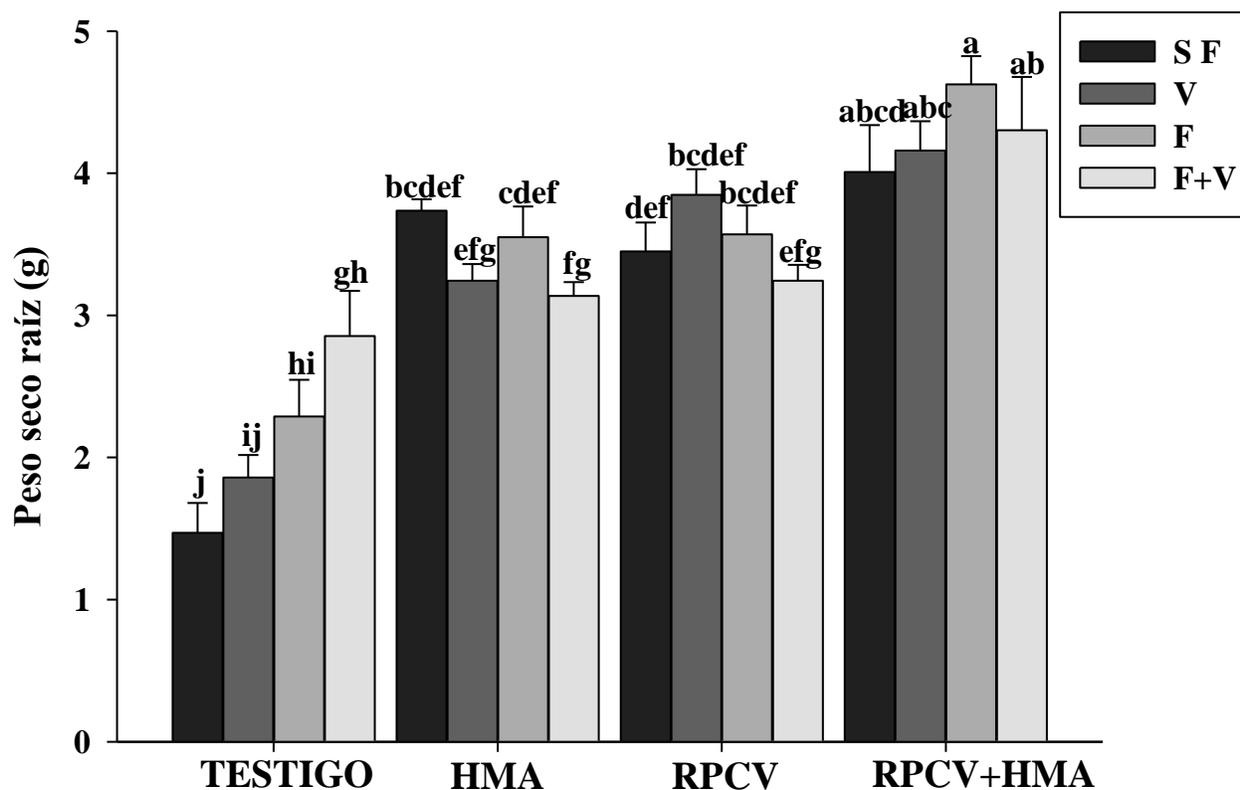


Figura 17. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de raíz de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Peso seco de la parte aérea

Para el peso seco de la parte aérea se observó que los tratamientos inoculados superaron al testigo absoluto. Los niveles más altos se observaron en la inoculación con HMA+RPCV, existiendo diferencias estadísticas, siendo el fertilizado con urea y vermicompost el que mostró los niveles más altos con 21.90 g y el más bajo lo encontramos con el inoculado con RPCV con 15.08 g.

De los tratamientos inoculados con HMA el mejor fue el que no se fertilizó en comparación a los fertilizados, y los inoculados con RPCV el que mostró los niveles más altos fue el fertilizado con

vermicompost con 16.74 g, a diferencia de los inoculados con HMA el que mostró los niveles más bajos fue el fertilizado con vermicompost con 13.06 g. los tratamientos testigo el que mostró los valores más altos fue el fertilizado con urea y vermicompost con 13.31 g existiendo diferencia estadística con el testigo absoluto el cual presentó 7.18 g (Figura 18).

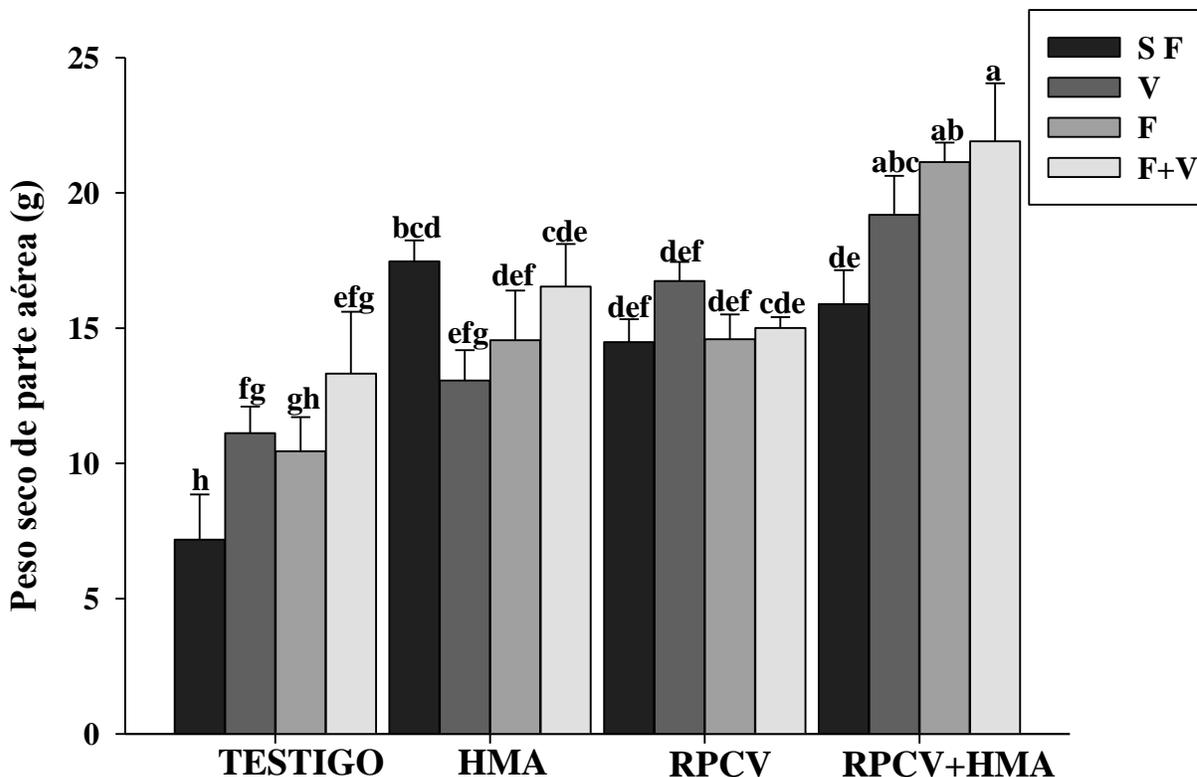


Figura 18. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en peso seco de la parte aérea de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Muchos hongos micorrizicos y BPCV juegan un papel importante en la movilización de nutrientes a partir de sustratos orgánicos, ya que movilizan los nutrientes como el N y el P a partir de polímeros estructurales y los hacen disponibles para la planta (Lindahl *et al.*, 2005). Además afectan la sanidad vegetal, la absorción de nutrientes, las poblaciones de la rizofera y otros factores

de la interacción suelo-planta (Lavelle y España, 2002; Suresh y Bagyaraj, 2002) lo cual se ve reflejado en el presente trabajo en peso seco aéreo y radical.

Respuesta del estado nutrimental de las plantas

Fósforo en biomas total

El análisis de varianza al que se sometieron los valores obtenidos del análisis químico de tejido vegetal, realizado al final del experimento, mostró diferencias significativas por la combinación inoculación y fertilizado con vermicompost, determinando mayor contenido nutrimental de fósforo en biomasa total (Figura 19), en las plantas inoculadas con HMA, RPCV y HMA+RPCV se obtuvieron diferencias significativas entre plantas inoculadas. Las plantas inoculadas con HMA y fertilizada con vermicompost y urea mostraron valores similares (1.06 y 1.03 %) comportándose similar, no así los inoculados con RPCV+HMA, los cuales mostraron valores más bajos los fertilizados con urea en comparación a los fertilizados con vermicompost y urea + vermicompost (0.51, 1.11 y 1.19 %), el tratamiento que presentó los valores más altos fue el inoculado con RPCV y sin fertilizar con 1.19 % y el tratamiento con los valores más bajos fue el testigo absoluto con 0.15 %.

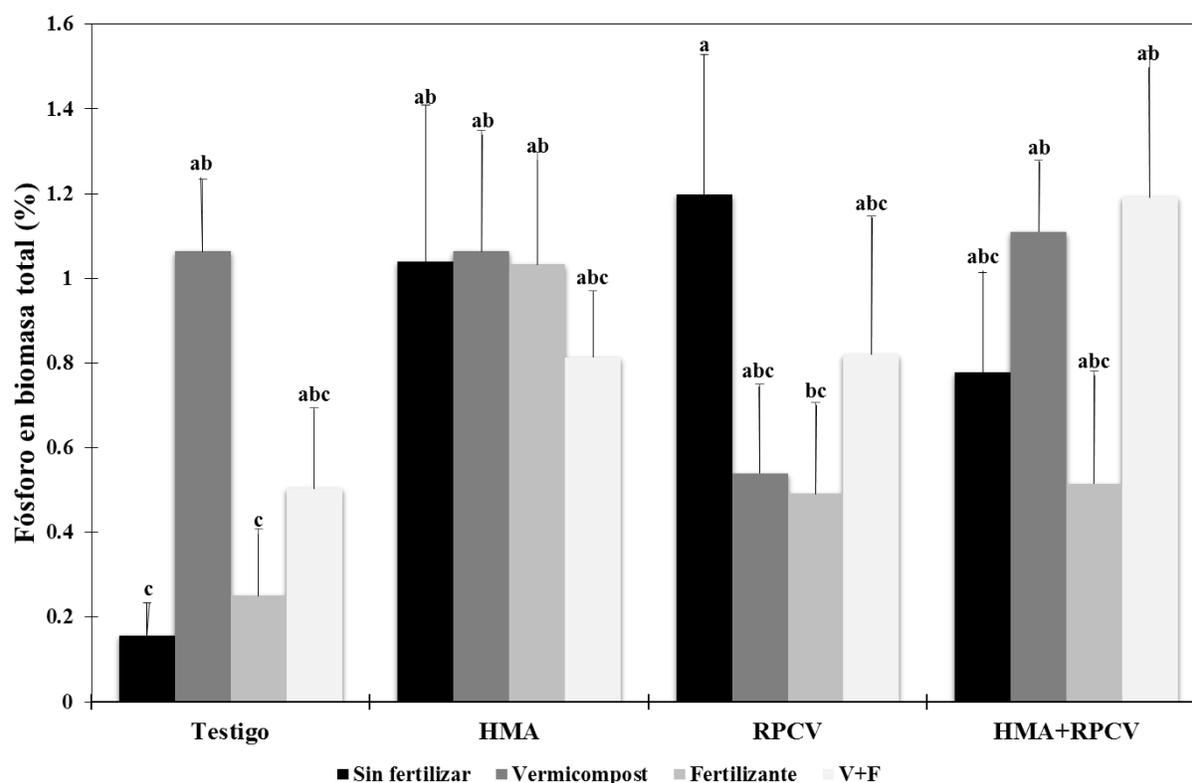


Figura 19. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de fósforo en chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Fósforo en fruto

Para el contenido de fósforo en el fruto los resultados fueron similares al contenido de fósforo en biomasa total, siendo en este caso la combinación de HMA y vermicompost el que mostro los valores más altos con 3.63 %, esto se atribuye al mecanismo con el que trabajan los HMA los cuales ayudan a la planta a obtener los nutrientes por su micelio externo (Wehner *et al.*, 2010). El tratamiento inoculado con RPCV sin fertilizar mostró los niveles más altos con 3.60 % en comparacion con el tratamiento inoculado con RPCV y fertilizado con urea, el cual presento los valores más bajos de todos los tratamientos con sus diferentes combinaciones con 2.1 %. El efecto

de las RPCV+HMA mostró valores superiores cuando se inoculo y no se fertilizó con vermicompost y con urea, los tratamientos testigos se observó valores superiores cuando se fertilizó con vermicompost en comparacion a la fertilizacion con urea.

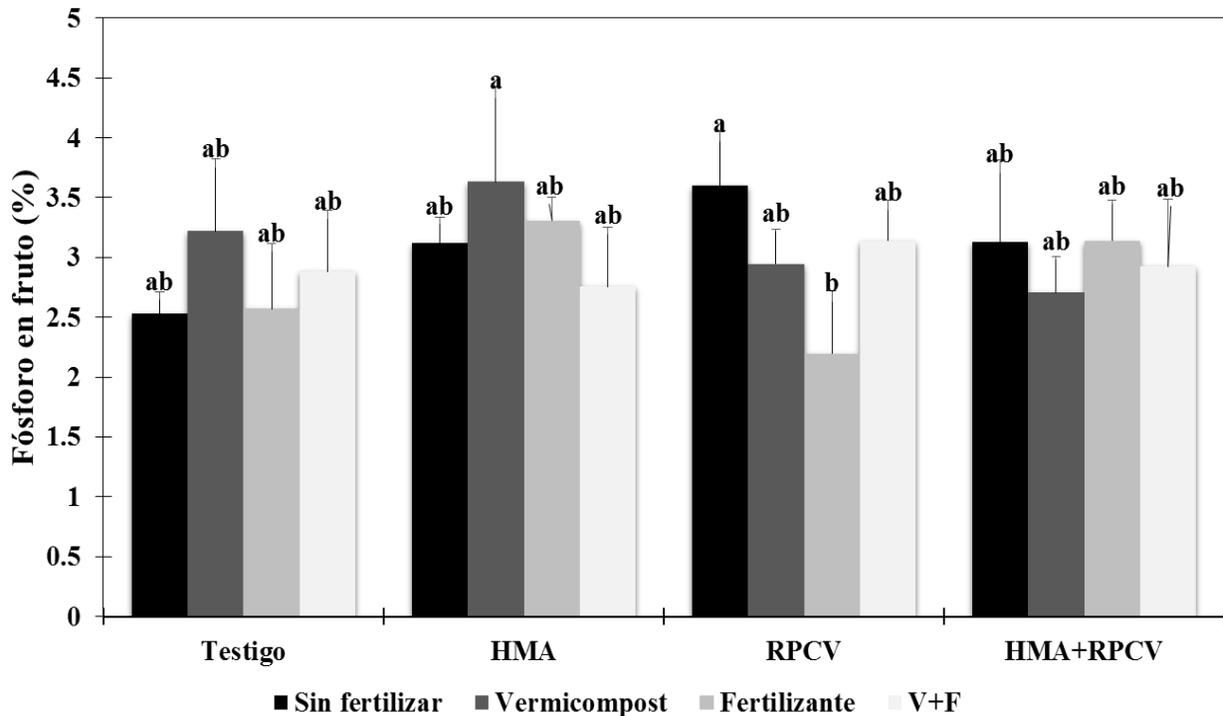


Figura 20. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de fósforo en chile jalapeño a los 117 días después del transplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Se ha reportado en plantas de chile bell pepper y avena beneficios por parte de los HMA, entre ellos, mayor biomasa aérea y radical, parámetros fisiológicos en hojas y acumulación de fósforo (Xun et al., 2015; Padmavathi *et al.*, 2015). Dentro de los mecanismos conocidos por parte de los HMA en crecimiento vegetal, se encuentran: absorción de fósforo y nitrógeno y actividad fosfatasa (Oliveira *et al.*, 2010; Nandjui *et al.*, 2013; Dąbrowska *et al.*, 2014; Adhya *et al.*, 2015; Padmavathi

et al., 2015) y en BPCV dentro los mecanismos usados se encuentran: producción de sideróforos, solubilización de fósforo e indoles (Egamberdiyeva y Kucharova, 2009; Dell'Amico *et al.*, 2008; Herman *et al.*, 2008; Viruel *et al.*, 2011; Padmavathi *et al.*, 2015) y en RPCV dentro los mecanismos usados se encuentran: producción de sideróforos, solubilización de fósforo e indoles (Egamberdiyeva y Kucharova, 2009; Dell'Amico *et al.*, 2008; Herman *et al.*, 2008; Viruel *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2012; Padmavathi *et al.*, 2015). Posiblemente a esto se deban los resultados estadísticamente significativos de concentración de fósforo en plantas inoculadas con HMA y RPCV.

Nitrógeno en biomasa total

Para el contenido de nitrógeno los valores obtenidos a los 117 ddt, se observó un efecto superior en los tratamientos fertilizados con urea en comparación a los fertilizados con vermicompost, los tratamientos inoculados con HMA y fertilizados con urea y vermicompost mostraron los valores más altos con 5.56 % en comparación a los inoculados con HMA y sin fertilizar el cual presentó los valores inferior a los fertilizados con 4.38 %. Los tratamientos inoculados con RPCV se presentó similar, siendo el tratamiento fertilizado con urea y vermicompost el que mostró los valores más altos con 5.15 % en comparación con el inoculado y sin fertilizar con 4.2 %, en el tratamiento inoculado con HMA+RPCV se observó cómo va incrementando los valores cuando se fertiliza con vermicompost, con urea y con la fertilización de urea + vermicompost (Figura 21).

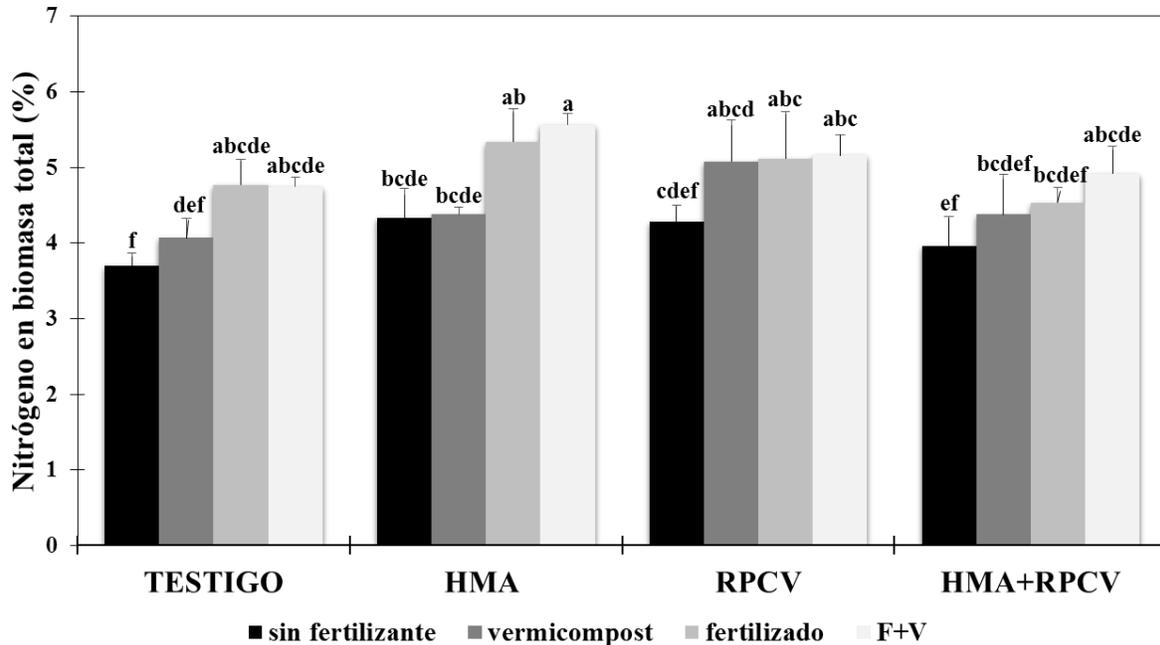


Figura 21. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de nitrógeno en biomasa de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

Para los testigos se observa claramente como la concentración de nitrógeno en la biomasa se incrementa conforme se fertiliza con urea y con urea+ vermicompost, siendo este último de los testigos el que presentó los valores más altos con 4.7 % y el testigo absoluto mostró los valores más bajos con 3.6%. (Figura 21)

Nitrógeno en fruto

Para el contenido de nitrógeno en el fruto se mostró similar al contenido de nitrógeno en la biomasa total, a medida que se fertilizó con urea se incrementó el contenido de nitrógeno en los frutos, datos similares se obtuvieron con la fertilización con urea y vermicompost. El contenido de nitrógeno en el fruto no se mostró efecto por los microorganismos inoculados como HMA, RPCV y HMA+RPCV, ya que los testigos sin inocular presentaron concentraciones de nitrógeno

similares a los inoculados siendo el testigo fertilizado con urea + vermicompost el que mostró los valores más altos con 3.09 % en comparación al testigo absoluto con 2.3 %, de los tratamientos inoculados que presento los valores más altos fue el inoculado con RPCV y fertilizado con urea + vermicompost con 2.8 % y el que mostró los niveles más bajos de todos los tratamientos con sus combinaciones fue el inoculado con HMA sin fertilizar el cual presentó 2.0 %. Los tratamientos inoculados con HMA+RPCV fertilizados con urea presentó 3.21 y fertilizado con urea + vermicompost presentó valores de 3.25, muy similares.

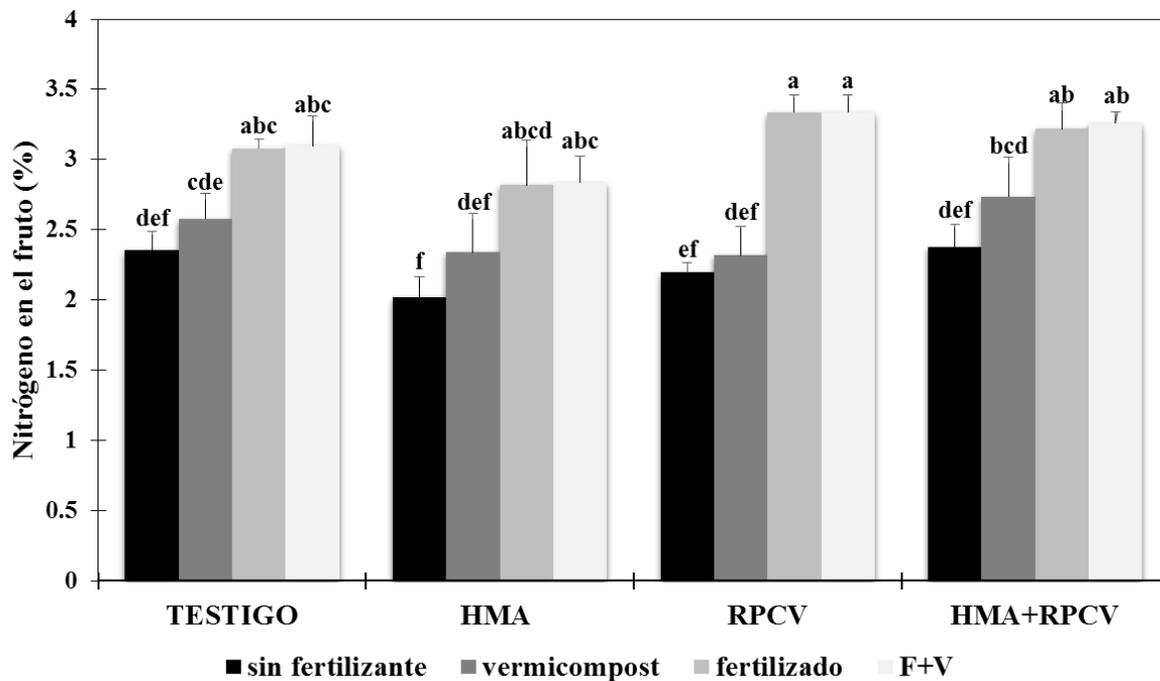


Figura 22. Efecto de la combinación de la inoculación con HMA, RPCV, HMA+RPCV, vermicompost y fertilización química en contenido de nitrógeno en fruto de chile jalapeño a los 117 días después del trasplante. SF sin fertilizar, V vermicompost, F fertilización y F+V fertilizante más vermicompost. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias (LSD, $\alpha=0.05$).

El contenido de nitrógeno en frutos de *Capsicum annuum* aumenta significativamente con vermicompost, lo cual se debe a la relación con el aumento de contenido de proteína (Bajaj *et al.*, 1979). También, cuando el pH de los frutos es bajo, el ácido cítrico se encuentra en los frutos

(Wang y Lin, 2002); el pH bajo es más adecuado para la maduración, y mejora la vida útil del fruto (Hernandez-Perez *et al.*, 2005) que está relacionada con la acidez titulable y los niveles de ácido orgánico (Wang y Lin, 2002).

Colonización micorrízica

Cuadro 10. Colonización micorrízica en plantas de chile jalapeño a los 117 ddt.

Tratamientos	% Colonización
HMA+V+F	43.3
HMA+V	51.66
HMA+ F	41.33
HMA	53.6
RPCV+HMA+V+F	46.3
RPCV+HMA+V	55.3
RPCV+HMA+F	53.6
RPCV+HMA	56.6
RPCV+V+F	0
RPCV+V	0
RPCV+F	0
RPCV	0
TESTIGO+V+F	0
TESTIGO+V	0
TESTIGO+F	0
TESTIGO	0

Los HMA inoculado por si solo o en combinación con RPCV en las plantas de chile, mostro una colonización significativamente mayor, en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 10). Smith y Read, (2008), nos dice que la respuesta de crecimiento y colonización depende tanto de especies de hongos y plantas, de las condiciones experimentales y ambientales. Las bacterias afectan los niveles de colonización micorrizica en raíces, pero a diferentes maneras, dependiendo de que bacteria y hongo se aplique. La colonización no está directamente relacionada con el

rendimiento de la planta, si no que depende de la combinación de los microorganismos (estimulación) (Singh *et al.*, 2012). Algunas *Pseudomonas* spp., son capaces de adherirse a la superficie de las hifas de los HMA, lo que sugiere que existen mecanismos para la colonización micorrízica, como el efecto de la atracción electrostática (Bianciotto *et al.*, 1996) regido por parámetros físico-químicos, el mecanismo que implica la producción de fibrillas de celulosa u otros polímeros bacterianos (Bianciotto *et al.*, 2001) y los diferentes estados fisiológicos de las hifas (Toljander *et al.*, 2006). La colonización micorrízica se ve beneficiada a través de la interacción metabólica, tales como el intercambio de nutrientes y carbono, esto se basa en un estrecho contacto celular entre los componentes de bacterias y hongos (Garbaye, 1994). En cuanto al efecto de la fertilización y el uso de vermicompost en la colonización micorrízica total, Camenzind *et al.*, (2014) y Kim *et al.*, (2014) nos dicen que el aumento o adición de nitrógeno provocan una disminución significativa en la abundancia extrarradical e intrarradical, especialmente en las Glomales, lo cual es el caso en el presente estudio, ya que las plantas inoculadas con HMA en combinación con fertilización fueron estadísticamente menor a las plantas inoculadas únicamente con el hongo (Figura 6). Las Glomales están fuertemente vinculadas a cambios en la comunidad vegetal, una reducción en las hifas extrarradicales de los hongos se asocia tanto con los cambios en los factores de suelo y los cambios en la composición de la comunidad vegetal que se debe a la fertilización (Johnson *et al.*, (2008); Johnson, 2010 y Liu *et al.*, 2012). Aunque bien, una fertilización moderada de fertilizantes minerales no suprime y mejora la colonización micorrízica y propiedades microbianas del suelo (Zubek *et al.*, 2012).

Conclusiones

La utilización de microorganismos (HMA, RPCV y HMA+RPCV) en combinación con el vermicompost tiene un efecto benéfico en el desarrollo y crecimiento del chile jalapeño, además se obtiene mejores resultados y con un costo mucho más económico que cuando se fertiliza con fertilizante mineral.

Al aumentar la dosis de aplicación de vermicompost aumenta el crecimiento y rendimiento de frutos de chile jalapeño.

En esta investigación se mostraron los resultados y en la mayoría de las variables cuando se inocula, y se fertiliza con vermicompost se obtuvieron diferencias estadísticas a los inoculados y fertilizados con urea, por lo que se puede concluir que presentan mayores posibilidades de efectividad en el campo la combinación de microorganismos y biofertilizantes. La recomendación del uso de biofertilizantes, debe hacerse inicialmente como un complemento a la fertilización sintética, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones de suelo, manejo y respuesta del cultivo.

VII LITERATURA CITADA

- Adhya, T.K.; Kumar, N.; Reddy, G. y Podile, A.R. 2015. Microbial mobilization of soil phosphorus and sustainable P management in agricultural soils. *Current Science*. 109: 1904-1912.
- Aguiar, N. O.; Olivares, F. L.; Novotny, E. H.; Dobbss, L. B.; Martinez-Balmori, D.; Santos-Júnior, L. G.; Chagas, J. G.; Fac, A. R. y anha, L.P. 2013. Canellas, Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. *Plant and Soil*. 362:161-174.
- Aguilar-Rincón, V. H. T.; Corona-Torres, P.; López-López, L.; Latournerie-Moreno, M.; Ramírez-Meraz, H.; Villalón-Mendoza, J. A. y Aguilar-Castillo. 2010. Los Chiles de México y su Distribución. SIN-AREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UNAL y UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. p.114.
- Ahemad, M. y Khan, M.S. 2012c. Evaluation of plant growth promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under herbicide-stress. *Annals of Microbiology*. 62: 1531-1540.
- Ahemad, M. y Kibret, M. 2014 Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Cuerrent perspective. *Journal of King Saud University-Science*. 26: 1-20.
- Ahmed, E.; Hassan, E.; Tobgy, K. y Ramadan, E. 2014. Evaluation of rhizobacteria of some medicinal plants for plant growth promotion and biological control. *Annals of Agricultural Science*. 59 (2): 273–280.
- Alguacil, M. M.; Lumini, E.; Roldan, A.; Salinas-García, J. R.; Bonfante, P. y Bianciotto, V. 2008. The impact of tillage practices on arbuscular mycorrhizal diversity in subtropical crops. *Ecological Applications*. 18: 527-536
- Álvaro-Fuentes, J.; López, M. V.; Cantero-Martínez, C. y Arrue, J. L. 2008. Tillage effects on soil organic carbon fractions in Mediterranean dryland agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*. 72: 541-547.
- An-Dong S.; Qian, L.; Jian-Guo, H. y Ling, Y. 2013. Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth, Mineral Nutrition and Chlorogenic Acid Content of *Lonicera confusa* Seedlings Under Field Conditions. *Pedosphere*. 23: 333-339.

- Arafat-Abdel, Hamed-Abdel, Latef y He, Chaoxing. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*. 127: 228-233.
- Aram, K. y Rangarajan A. 2005. Compost nitrogen fertility management of bell pepper in a dripirrigated plasticulture System. *HortScience*. 40 (3): 577-581.
- Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Bierman, P.; Welch, C. y Metzger, J. D., 2004. The influence of vermicompost applications to strawberries: Part 1. Effects on growth and yield. *Bioresource Technology*. 93: 145-153.
- Arancon, N.; Edwards, C.; Bierman, P.; Metzger, J. y Luchtd, C. 2005. Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*. 49 (4): 297-306.
- Armenta-Bojorquez, A. D.; García-Gutierrez, C.; Camacho-Báez, J. R.; Apodaca-Sánchez, M. A.; Gerardo-Montoya, L. y Nava-Pérez, E. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra: Mihai Popovicu*. 651-56.
- Astier, M. y J. Hollands. 2005. La evaluación de la sustentabilidad de experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Ediciones Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. GIRA A.C. Mundiprensa. D. F. México. p 262.
- Auge, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*. 84: 373-381.
- Azadi, H.; Schoonbeck, S.; Mahmoudi, H.; Derudder, B.; De Meyer, P. y Witlox F. 2011. Organic agriculture and sustainable Food production system: Main potentials. *Agriculture Ecosystems Environ*. 144: 92-94.
- Azcón, R. y Barea, J. M. 1997 Mycorrhizal dependency of a representative plant species in Mediterranean shrublands (*Lavanduca spica L*) as key factor to its use for revegetation strategies in a desertification-threatened areas. *Applied soil Ecology*. 7:83-92.
- Azofeifa, A. y Moreira, M. A. 2008. Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum L. cv. Hot*) en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 3 2(1): 19-29.
- Bago, B.; Pfeffer, P.E. y Shachar-Hill, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiol*. (124): 949-957.

- Bajaj, K. L.; Kaur, G.; Singh, J. y Brar, J. S. 1979. Effect of nitrogen and phosphorus levels on nutritive values of sweet peppers (*Capsicum annum* L.) fruits. *Plant Food Hum Nutrition*. 28: 287-292.
- Barea, J. M.; Azcón, R. y Azcón-Aguilar, C. 2004. Mycorrhizal fungi and plant growth Promoting rhizobacteria, *Plant Surface Microbiology* (A. Varma, L. Abbott, D. Werner, R. Hampp Eds). Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania. pp. 351-371.
- Barraza, F.; Fischer, G. y Cardona, C. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en el valle del sinú medio. *Agronomía Colombiana*. 22. (1): 81-90.
- Barrer, S.; Smith, S. E. y Read, D. J. 2009 mycorrhizal fungi as alternative to sustentable agricultura. *Mycorrhizal Symbiosis*. Elsevier Academic Press. Third edition. pp. 11-188.
- Bélanger, R.R. y Avis, T. J. 2002. Ecological processes and interactions occurring in leaf surface fungi. En: Lindow, S. E.; Hecht Poinar, E. I. y Elliot, V.J. (Eds.). *Phyllosphere Microbiology*. APS Press, St. Paul, MN. pp. 193-207.
- Beranova, M.; Karanatsidis, G; Sapundzheva, K y Nikolova, V. 2010. Effect of organic fertilization on growth and yield of pepper plantes (*Capsicum annum* L.). *folía Horticulture*. 22. (1): 3-7.
- Berg, G. 2009. Plant microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiol Biotechnology*. 84: 11-8.
- Berríos, U.; C. Arredondo, M. E.; y Tjalling, H. H. 2007. Guia de manejo de nutrición vegetal de especialidad: Pimiento. SQM. México, D. F. p.103.
- Bhattacharyya, P. N. y Jha, D. K. 2012 Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal Microbiol Biotechnology*. 28: 1327-50.
- Bianciotto, V. y Bonfante, P. 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi: a specialised niche for rhizospheric and endocellular bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*. (81): 365-371.
- Bianciotto, V.; Bandi, C.; Minerdi, D.; Sironi, M.; Tichy, H. V. y Bonfante, P. 1996. An obligately endosymbiotic mycorrhizal fungus itself harbors obligately intracellular bacteria. *Applied Environmental Microbiology*. (62): 3005-3010.
- Blessy, J. y Lakshmi, P. 2013. Effect of vermicompost on the growth and yield of *Capsicum annum*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 4: 1284-1290.

- Borie, F.; Rubio, R. y Morales, A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. *Journal of Soil Science Plant Nutrition*. 8: 9-18.
- Calderón, Vásquez; Alatorre Cobos, C.; Simpson Williamson, F.; Herrera, J. y Estrella, L. 2009. Maize under phosphate limitation. In: J.L. Bennetzen and S.C. Hake (eds.). *Handbook of Maize: Its Biology*. pp. 381-404.
- Camenzind, T.; Hempel, S.; Homeier, J.; Horn, S.; Velescu, A.; Wilcke, W. y Rilig, M. C. 2014. Nitrogen and phosphorus additions impact arbuscular mycorrhizal abundance and molecular diversity in a tropical montane forest. *20 (12): 3646-3659*.
- Campitelli, P. y Ceppi, S. 2008. Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: a chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 90: 64-71.
- Cappellari, L.; Santoro, M.; Nievas, F.; Giordano, W. y Banchio, E. 2013. Increase of secondary metabolite content in marigold by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. *Applied Soil Ecology*. 70: 16– 22.
- Cappellari, L.; Santoro, M.; Reinoso, H.; Travaglia, C.; Giordano, W. y Banchio, E. 2015. Anatomical, morphological, and phytochemical effects of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Chemical Ecology*. 41:149-158.
- Cartieaux, F. P.; Nussaume, L. y Robaglia C. 2003. Tales from the underground: molecular plant-rhizobacteria interactions. *Plant Cell Environ*. 26:189-99.
- Castellanos, J.Z., Uvalle, B.J.X. y Aguilar, S.A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Colección INCAPA. Colección INCAPA. Segunda Edición 226 p.
- Cavender, N. D.; Atiyeh, R. M. y Knee, M. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedo Biología*. 47: 85-89.
- Chávez, P. 1994. Principios-Agroecología. Lombricultura. Centro de promoción de Lombricultura. Ceprola, Arequipa Perú. composta como alternativa ecológica para la producción sostenible del Chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia*. 27 (8): 417-421.

- Contreras-Cornejo, H.A. 2009 *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 149, 1579–1592.
- Contreras-Ramos, S.M.; Álvarez-Bernal, D. y Dendooven, L. 2007. Dynamics of nitrogen in a PAHs contaminated soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms. *Chemosphere.* 67: 2072-2081.
- Cuervo, J. y Rivas, G. 2007. Cuantificación de hongos micorrízicos en muestras de suelo en plantaciones de *Tabebuia rosea* y *Cordia alliodora*. *Nova.* 7 (5): 38-41.
- Dąbrowska, G.; Baum, Ch.; Trejgell, A. y Hryniewicz. 2014. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and expression of gene encoding stress protein-metallothionein BnMT2 in the non-host crop *Brassica napus* L. *Journal Plant Nutrition Soil Science.* 000: 1-9.
- Deaquiz, Y; Alvares, J. y Fraile, A. 2008. Efecto de diferentes láminas de riego y sustratos en la propagación de tomates (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias hortícolas.* 2 (1): 54-65.
- Dell-Amico, E.; Cavalca, L. y Andreoni, V. 2008. Improvement of *Brassica napus* growth under cadmium stress by cadmium-resistant rhizobacteria. *Soil Biology and Biochemistry.* 40: 74-84.
- Denton, B. 2007. Advances in phytoremediation of heavy metals using plant growth promoting bacteria and fungi. *Basic Biotechnol.* 3:1-5.
- Díaz-Zorita.; Fernández-Canigía, M. V. 2009. Field performance of *Azospirillum brasilense* an dryland wheat productivity. *European Journal Soil Biology.* 45: 3-11.
- Doornbos, R. F.; Van Loon, L. C. y Bakker, P. A. H. M. 2012. Impact of root exudates and plant defenses signaling on bacterial communities in the rhizosphere. A review. *Agronomy Sustainable.* 32: 227-43.
- Douds, D.D., Galvez, L., Janke, R.R., Wagoner, P., 1995. Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesiculararbuscularmycorrhizal fungi. *Agric. Ecosyst. Environ.* 52, 111–118.
- Dúran L., Henríquez C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompost producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, vol. 313, mun1 pp 41-55.

- Edwards, C. A. y Burrows, I. 1988. The potential of the earthworm composts as plant growth media. In: Edwards, C.A. and Neuhauser, E. Ed. *Earthworms in waste and environmental Management*, the Hague. The Netherlands. pp. 211-219.
- Edwards, C. A.; Dominguez, J. y Arancon, N.Q., 2004. The influence of vermicompost on plant growth and pest incidence. In: Mikhail, W.Z.A., Shakir, S.H. (Eds.), *Soil Animals and Sustainable Development*. pp. 337-420.
- Egamberdieva, D. y Kucharova, Z. 2009. Selection for root colonising bacteria stimulating wheat growth in saline soils. *Biol Fertil Soils*. 45: 563-571.
- El-Iklil, Y.; Karrou, M. y Benichou, M. 2000. Salt stress effect on epinasty in relation to ethylene production and water relations in tomato. *Agronomy*. 20: 399-406.
- Espinosa-Victoria, D.; González-Mendoza, D.; Placencia de la Parra, J.; García-Espinosa, R. 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. *TERRA Latinoamericana*. 22. (3). pp. 317-326.
- Feng, K.; Lu, H. M.; Sheng, H. J.; Wang, X. L. y Mao, J. 2004. Effect of organic ligands on biological availability of inorganic phosphorus in soils. *Pedosphere*. 14 (1): 85-92.
- Fernández MJ, Russo L 2006 Vida picante de amazonas: gran potencial para la micro y mediana empresa. *Revista digital CENIAP hoy* no. 12 septiembre-Diciembre 2006, Maracay, Aragua, Venezuela. 2006.
- Fernández, F. y Rendina, A. 2004. Evaluación analítica del vermicompost de estiércoles y residuos de cereales y su efecto como fertilizante orgánico en el cultivo de lechugas mantecosas. http://www.inta.gov.ar/sanpedro/info/doc/hor/ju_016re.htm. San Pedro-Brasil.
- Fernández-Gómez, M.J., Nogales, R., Insam, H., Romero, E., Goberna, M. 2011. Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *Bioresour. Technol*. 102, 9638–9645.
- Fernández-Gómez, M.J., Rogelio Nogales, R., Insam, H., Romero, E., Goberna, M., 2012. Use of DGGE and COMPOCHIP for investigating bacterial communities of various vermicomposts produced from different wastes under dissimilar conditions. *Sci. Total Environ*. 414, 664–671.

- Finlay, R. D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*.59: 1115-1126.
- Fitter, A. H.; Helgason, T. y Hodge, A. 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. *Fungal Biology Reviews*. 25: 68-72.
- Fliessbach, A.; Oberholzer, H.; Gunst, L. y Mader, P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystem Environmental*. 118: 273-284.
- Gamalero, E.; Berta, G.; Massa, N.; Glick, B. R. y Lingua G. 2010. Interactions between *Pseudomonas putida* UW4 and *Gigaspora rosea* BEG9 and their consequences on the growth of cucumber under salt stress conditions. *Journal of Applied Microbiology*. 108: 236-45.
- Gamalero, E.; Trotta, A.; Massa, N.; Copetta, A.; Martinotti, M. G. y Berta, G. 2004. Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza*. 14:185-192.
- Gange, A. C.; West, H. M. y 1994. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in *Plantago lanceolata* L. *New Phytologist*. 128: 79-87.
- Garbaye, J. 1994. Helper bacteria: a new dimension to the mycorrhizal symbiosis. *New Phytol.* (128): 197-210.
- García-Ruiz, R.; Ochoa, V.; Hinojosa, M.B. y Carreira, J.A., 2008. Suitability of enzymatic activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. *Soil Biology Biochemistry*. 40: 2137-2145.
- Garmendia, I.; Goicoechea, N. y Aguirreolea, J. 2004 Plant phenology influences the effect of mycorrhizal fungi on the development of *Verticillium*-induced wilt in pepper. *European Journal Plant Pathology*. 110: 227-238.
- Gensch, R.; Miso, A. y Itchon, G. 2011. *La Orina Como Fertilizante Líquido En La Producción Agrícola baño Filipinas: Una Guía Práctica* Xavier University Press, Filipinas.
- Gerdemann, J. W. y Nicholson, T. H. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*. 46. p. 235-244.

- Glick, B. R. 2010. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*. 28: 367-74.
- Glick, B. R. y Bashan, Y. 1997. Genetic manipulation of plant growth-promoting bacteria to enhance biocontrol of fungal phytopathogens. *Biocontrol Advance*.15: 353-78.
- Glick, B. R.; Cheng, Z.; Czarny, J.; Cheng, Z. y Duan, J. 2007. Promotion of plant growth by ACC deaminase-producing soil bacteria. *European Journal Plant Pathology*.119: 329-39.
- Glick, B. R.; Karaturovic, D. M. y Newell, P. C. 1995. A novel procedure for rapid isolation of plant growth promoting *Pseudomonas*. *Canadian Journal Microbiology*. 41: 533-536.
- Gómez, A. R.; J. G. Lázaro y N. A. A. León. 2008. Producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y Rábano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad Científica*. 24: 11-20.
- González, C.; Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. 2008. Biodiversidad funcional de los hongos micorrízicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas. In: N. M- Montaña A., S. L. Guadarrama-Chávez, P.; Sánchez-Gallén, I.; Álvarez-Sánchez, J. y Ramos-Zapata J. 2004. Hongos y plantas: beneficios a diferentes escalas en micorrizas arbusculares. *Ciencias*. 73: 38-45.
- Guo, Y.; Ni, Y. y Huang, J. 2010. Effects of rhizobium, arbuscular mycorrhiza and lime on nodulation, growth and nutrient uptake of lucerne in acid purplish soil in China. *Trop Grasslands*. 44: 109-14.
- Gutiérrez-Miceli, F. A.; Moguel-Zamudio, B. Abud-Archila, M. Gutiérrez-Oliva, V. F. y Dendooven, L. 2008. Sheep manure vermicompost supplemented with a native diazotrophic bacteria and mycorrhizas for maize cultivation. *Bioresource Technology*. 99: 7020-7026.
- Harrison, M. J.; Dewbre, G.R. y Liu J. 2002. A Phosphate Transporter from *Medicago truncatula* Involved in the Acquisition of Phosphate Released by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *The Plant Cell*. 14: 2413-2429.
- Hartenstein, R. y Bisesi, M.S. 1989. Use of earthworm biotechnology for the management of effluents from intensively housed livestock. *Outlook on Agriculture*. 18: 3-7.

- Hartmann, A. y Bashan, Y. 2009. Ecology and application of *Azospirillum* and other plant growth-promoting bacteria (PGPB) special issue. *European Journal Soil Biology*. 45:1-2.
- Hayat, R.; Ali, S.; Amara, U.; Khalid, R. y Ahmed, I. 2010. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Ann Microbiology*. 60: 579-598.
- Herman, M. A. B.; Nault, B. A. y Smart, C. D. 2008. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on *Bell pepper* production and green peach aphid infestations in New York. 27: 996-1002.
- Hernández-Pérez, T. A.; Carrillo-López, F.; Guevara-Lara, A.; Cruz-Hernández. y O. Paredes-López. 2005. Biochemical and nutritional characterization of three prickly pear species with different ripening behavior. *Plant Food Human Nutrition*. 60: 195-200.
- Hernández-Verdugo, S.; Aranda-Davila, P. y Oyama, K. 1999. Review of taxonomy, origin and domestication of the genus *Capsicum*. *Boletín de la sociedad Botánica de México*. 64: 65-84.
- Hernández-Verdugo, S.; López-España, R. G.; Sánchez-Peña, P.; Villarreal-Romero, M.; Parra-Terraza, S.; Porras, F.; Corrales-Madrid, J. L. 2008. Variación fenotípica entre y dentro de poblaciones silvestres de chile del noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex*. 31(4): 323-330.
- Hillel, D- 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press, New York, USA, 771p. [An updated book on soil physics that does not only cover the original topics but also enlarge the scope of field to cover environmental aspects].
- Hoppe, J. R. 2001. Morphologie des Blattles. *Allgemeine botanic*. Institut für Systematische Botanik und Ökologie, Universität Ulm. Alemania. 119.
- Huang, X.; Zhang, N.; Yong, X.; Yang, X. Y Shen, Q. 2012. Biocontrol of Rhizoctonia solanidamping-off disease in cucumber with *Bacillus pumilus* SQR-N43. *Microbial Research*. 167: 135-143.
- Huerta, E.; Vidal, O.; Jarquin, A.; Geissen, V. y Gómez, R. 2010. Effect of vermicompost on the growth and production of *Amashito Pepper*, interactions with earthworms and rhizobacteria. 4 (18): 282-288.
- IBPGR. 1983. Genetics Resources of *Capsicum* – A global Plan Action. International Board for Plant Genetics Resources AGPG / IBPGR/82/12. Rome. Italy. pp.49.

- Johnson, N. C. 2010. Resource stoichiometry elucidates the structure and function of arbuscular mycorrhizas across scales. *New Phytologist*. (185): 631-647.
- Johnson, N. C.; Rowland, D. L.; Corkidi, L. y Allen, E. B. 2008. Plant winners and losers during grassland N-eutrophication differ in biomass allocation and mycorrhizas. *Ecology*. (89): 2868-2878.
- Jouquet, E.P., Bloquel, E., Doan, T.T., Ricoy, M., Orange, D., Rumpel, C., Duc, T.T., 2011. Does compost and vermicompost improve macronutrient retention and plant growth in degraded tropical soils? *Compost Science and Utilization* 19, 15-24.
- Kalantari, S; Hatani, H; Ardalan, M. M; Alikhani, H. A y Shorofa, M. 2010. The effect of compost and vermicompost of yar leaf manure on growth of corn. *African Journal of Agricultural Research*. 5: 1317-1323.
- Kang, B. G.; Kim, W. T.; Yun, H. S. y Chang, S.C., 2010. Use of plant growth-promoting rhizobacteria to control stress responses of plant roots. *Plant Biotechnology Reports*. 4: 179-183.
- Kaymak, D. C. 2010. Potential of PGPR in agricultural innovations. In: Maheshwari DK, editor *Plant growth and health promoting bacteria*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer Verlag.
- Keeling, A. A.; McCallum, K.R. y Beckwith, C. P. 2003. Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioresource Technol.* 90: 127-132.
- Kim, Y. C.; Gao, C.; Zheng, Y.; He, X. H.; Yang, W.; Chen, L.; Wan, S. Q y Guo, L. D. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal community response to warming and nitrogen addition in a semiarid steppe ecosystem. *Mycorrhiza*. 25 (4): 267-276.
- Kloepper, J. W. y Schroth, M. N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *Proceedings of the 4th international conference plant pathogenic bacteria*. France: Angers.
- Kloepper, J. W.; Hume, D. J.; Scher, F. M; Singleton, C.; Tipping, B. y Lalibert, E. M. 1987. Plant growth-promoting rhizobacteria on canola (rapeseed). *Phytopathology*. 71: 42-6.

- Larchevêque, M.; Montès, N.; Baldy, V. y Dupouyet, S. 2005. Vegetation dynamics after compost amendment in a Mediterranean post-fire ecosystem. *Agriculture Ecosystems and Environment* 110: 241-248.
- Lavelle, P. y Martin, A. 1992. Small scale and large scale effects of endogeic earthworms in soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biology and Biochemistry*. 24:1491-1498.
- León, H. J. 2000. Botánica de los cultivos tropicales. Tercera edición. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A San José, Costa Rica. pp. 330-334.
- Li, M.; Liu, R. J. y Li, X.L. 2004. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and Fusarium-wilt disease of water melon grown in the field (in Chinese). *Acta Phytotaxonomica Sinica*. 34: 456-457.
- Li, M.; Meng, X. X.; Jiang, J. Q. y Liu, R. J. 2000. A preliminary study on relationship between arbuscular mycorrhizal fungi and Fusarium wilt of watermelon (in Chinese). *Acta Phytotaxonomica Sinica*. 30: 327-331.
- Lindahl, B. D.; Finlay R. D. y Cairney, J. W. G. 2005. Enzymatic activities of mycelia in mycorrhizal fungal communities. En: Dighton, J; Oudemans, P; White, J; ed. *The fungal community, its organization and role in the ecosystem*. New York: Marcel Dekker. pp. 331-348.
- Liu, Y.; Shi, G.; Mao, L.; Cheng, G.; Jiang, S.; Ma, X.; An, L.; Du, G.; Johnson, N. C. y Feng, H. 2012. Direct and indirect influences of 8 yr of nitrogen and phosphorus fertilization on Glomeromycota in an alpine meadow ecosystem. *New Phytologist*. 194 (2): 523-535.
- Long, J. 2008 .Tecnología alimentaria prehispánica. *Est. Cult. Náhuatl*. 39: 127-136.
- López, M.; Ferrera, C. R.; Farias, L. J.; Aguilar, E. S.; Bello, F. R. y López, A. J. 2005. Micorriza arbuscular, Bacillus y sustrato enriquecido con vermicomposta en el desarrollo de plantas de papayo. *TERRA Latinoamericana*. 23: 523-535.
- López, R. G.O. 2003. Chilli: La especial del Nuevo Mundo. *Ciencias*. 69: 66-75.
- López-Arcos, M.; Poot-Matu, J. E. y Mijangos-Cortez, M. A. 2012. Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12 (2): 307-312.

- Lugtenberg, B. y Kamilova, F. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review Microbiology*. 63: 541-556.
- Luo, X. J.; Peng, J. y Li, J. 2010. Recent advances in the study on capsaicinoids and capsinoids. *European Journal Pharmacology*. 650: 1-7.
- Ma, Y.; Prasad, M. N. V.; Rajkumar, M. y Freitas, H. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnol Advanced*. 9: 248-58.
- Maathuis, F. J. M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Sciences*, 12: 250-258.
- Maheswari, U. y. Iswarya, R. 2015. Characterization and viability assessment of freeze dried bacterial liquid biofertilizer on *Capsicum Annum L.* *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Reseach*. 2 (32): 103-107.
- Mahmood, S.; Ahmad, M.; Ahmad, Z.; Javaid, A. y Ashraf, M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*. 32: 429-448.
- Manjarrez-Martínez, M. J.; Ferrera-Cerrato, R. y González-Chávez, M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. *Terra*. 17 (1): 9-15.
- Marschner, H. 2002. La nutrición mineral de las plantas más altas. La prensa académica, San Diego. p.889.
- Marschner, H. y Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*.159: 89-102.
- Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Silva, P.; Valle, S. y Acevedo, E. 2008. Soil physical properties and wheat root growth as affected by no-tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil and Tillage Research*. 99: 232-244.
- Meding SM, Zasoski RJ. 2008. Hyphal-mediated transfer of nitrate, arsenic, cesium, rubidium, and strontium between arbuscular mycorrhizal forbs and grasses from a California oak woodland. *Soil Biol Biochem*. 40: 126-34.
- Milla, A. 2006. *Capsicum* de caspa, cápsula del pimiento. *Pimientos, Compendios de Horticultura*. 2: pp. 21-31. Libro en línea.
<http://www.horticom.com/tematicas/pimientos/pdf/capitulo1.pdf>.

- Montaño, A. N. M.; Camargo, S. L.; García, R. R. y Monroy, A. A. 2008. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (Arbuscular mycorrhizae in arid and semiarid ecosystems). Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, Mundi-Prensa SA de CV, UAM Iztapalapa, FES Zaragoza, UNAM. Distrito Federal, México. pp. 460.
- Morán, B. S. H.; Ribero, B. M.; García, F. Y. y Ramírez, V. P. 2004. Patrones isoenzimáticos de chiles criollos (*Capsicum annum* L.) de Yucatán, México. En Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos. Cali, Colombia. pp. 83-89. J.L. Chávez-Servia, J. Tuxill, D.I. Jarvis (editores).
- Moreno, R. A.; Rodríguez, D. N.; Reyes, C.; Marquez-quiros, J. L.; Reyes, C. y G. J. 2014. Comportamiento del chile Húngaro (*Capsicum annum*) en mezclas de vermicompost-arena bajo condiciones protegidas. Rev. FCA UNCUYO. 46 (2): 97-111.
- Moreno-Reséndez, A.; García-Gutiérrez, L.; Cano-Ríos, P.; Martínez-Cueto, V.; Márquez-Hernández C. y Rodríguez-Dimas, N. 2014. Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. Ecosistemas y recursos agropecuarios. 1(2): 163-173.
- Nadeem, S. M.; Zahir, Z. A.; Naveed, M. y Arshad, M. 2007. Preliminary investigations on inducing salt tolerance in maize through inoculation with rhizobacteria containing ACC deaminase activity. Canadian Journal Microbiology. 53: 1141-9.
- Nadeem, S. M.; Zahir, Z. A.; Naveed, M. y Ashraf, M. 2010. Microbial ACC-deaminase: prospects and applications for inducing salt tolerance in plants. Critical Reviews in Plant Sciences. 29: 360-93.
- Najafi, A.; Ardakani, M. R.; Rejali, F. y Sajedi, N. 2012. Response of winter barley to co-inoculation with *Azotobacter* and *Mycorrhiza* fungi influenced by plant growth promoting rhizobacteria. Annals of Biological Research; 3:4002-4006.
- Nandjui, J.; Voko, D. R. R.; Kouadio, A. N. M. S.; Fotso, B. y Tano, Y. 2013. Assessment of the occurrence and abundance of mycorrhizal fungus communities in soils from yam (*Dioscorea* spp.) cropping fields in Dabakala, North Côte d'Ivoire. Full Length Research Paper. 8 (44): 5572-5584.
- Newsham, K. K.; Fitter, A. H. y Watkinson, A. R., 1995. Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. Journal of Ecology. 83: 991-1000.

- Nieto Garibay, A.; A. B. Murillo, D. E. Troyo, M. J. A. Larrinaga y H. J. L. García. 2002. El uso de composta como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* L.) en zonas áridas. *Interciencia* 27 (8): 417-421.
- Noriega, A. M. N. 2009. Los chiles de México: catálogo visual. *Arqueología Mexicana Revista Edición Especial*. 32: 12-74.
- Nuez, F. R.; Gil, O. y Costa, J. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Reimpresión. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona España. p. 611.
- Olmstead, R. G; Bohs L; Migid H. A; Santiago-Valentin E; García F. V; Collier S. M. 2008. Una filogenia molecular de las solanáceas. *Taxón* 57: 1 159-1181.
- Oliva-Llaven, M. A.; Guzman-Jimenez, J. L.; Cabrera-Coro, B. I.; Rincón-Rosales.; Montes-Molina, J. 2014. Dendooven. y Gutiérrez-Miceli, F. A. Fruit characteristics of *Bell pepper* cultivated in sheep manure vermicompost substituted soil. *Journal of Plant Nutrition*. 31: 1585-1598.
- Oliveira, R. S.; Franco, A. R.; Vosátka, M. y Castro, P. M. L. 2010. Management of nursery practices for efficient ectomycorrhizal fungi application in the production of *Quercus ilex*. *Symbiosis*. 52: 125-131.
- Ordookhani, K.; Khavazi, K.; Moezzi, A. y Rejali, F. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. *African Journal of Agricultural Research*. 5:1108-16.
- Oropeza, J. y Russian, T. 2008. Efecto del vermicompost sobre el crecimiento, en vivero de la naranja “criollo” sobre tres patrones. *Agronomía Tropical*. 58(3): 289-297.
- Ortas, I. 2008a. The effect of mycorrhizal inoculation on forage and non forage plant growth and nutrient uptake under the field conditions. In: *Options Mediter raneennes. Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-functions*. CIHEAM, Zaragoza. pp. 463-469.
- Ortas, I. 2008b. Field trials on mycorrhizal inoculation in the Eastern Mediterranean Horticultural Region. In: Feldmann, F., Kapulnik, Y., Baar, J. (Eds.), *Mycorrhiza Works*. Hannover. Germany. pp. 56-77.
- Ortas, I. 2010. Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 8: 116-122.

- Oueslati, O. 2003. Allelopathy in two durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties. *Agriculture Ecosystem Environmental*. 96: 161-163.
- Padmavathi, T.; Dikshit, R. y Seshagiri. 2015. Effect of *Rhizophagus* spp. and plant growth-promoting *Acinetobacter junii* on *Solanum lycopersicum* and *Capsicum annum*. *Brazil Journal Botany*.
- Padmavathiamma, P. K.; Li, L. Y. y Kumari, U.R. 2008. An experimental study of vermibiowaste composting for agricultural soil improvement. *Bioresource Technology*. 99: 1672-1681.
- Patten, C. L. y Glick, B. R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of the host plant root system. *Applied Environmental Microbiology*. 68: 3795-801.
- Peña, S. E. y Torres, E. 1992 *La biofertilización: alternativa para el desarrollo rural*. Lima: red de acción en alternativas al uso de agroquímicos.
- Perry, L. K. V. y Flannery. 2007 Precolumbian use of chili peppers in the Valley of Oaxaca, Mexico. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 104:11905-11909.
- Phillips, J. M. y Hayman, D. S. 1970. Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55: 158-161.
- Phillips, R. P.; Finzi, A. C. y Bernhardt, E. S. 2011. Enhanced root exudation induces microbial feedbacks to N cycling in a pine forest under long-term CO₂ fumigation. *Ecology Letters*. 14: 187-94.
- Rabie, G.H. and A. Al-Humainy (2004). Role of Vesicular-arbuscular Mycorrhizal fungus on the growth of cowpea plant and their associative effect with N₂-fixing and Psolublizing Bacteria as Biofertilizers in calcareous Soil. *Journal of Food, Agriculture and Environment*.2(3-4): 186-192.
- Raghothama, K. G. y Karthikeyan, A. S. 2005. Rábano (*Rhabanus sativus* L.) en huertos biointensivos en el trópico húmedo de Tabasco. *Universidad Científica*. 24:11-20. Phosphate acquisition. *Plant Soil*. 274: 37-49.
- Rajkumar, M.; Prasad, N.; Freitas, M.N.V. H. 2010. Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends Biotechnology*. 28: 142-149.

- Ramírez, C. 1996. Efecto de las prácticas agrícolas sobre la microflora del suelo: oportunidades en la fitoprotección. X Congreso Nacional Agronómico. Universidad de Costa Rica. p. 81-83.
- Raviv, M.; Oka, Y.; Katan, J.; Hadar, Y.; Yogev, A.; Medina, S.; Krasnovsky, A. y Ziadna, H. 2005. Higs nitrogen compost as a médium for organic container-growth crops. *Bioresource Technology* 96: 419-427.
- Raymond, J.; Siefert, J. L.; Staples, C. R. y Blankenship, R.E. 2004. The natural history of nitrogen fixation. *Molecular Biology and Evolution*. 21: 541-554.
- Requena-Natalia. 2007. Plant signals and fungal perceptions during arbuscular mycorrhizal establishment. *Phytochemistry*. 68: 33-40.
- Rojas, K. y Ortuño, N. 2007. Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolibia, cebolla (*Allium cepa*) y papa (*Solanum tuberosum*) Universidad Católica de Bolivia. 3 (4).
- Rubio, L. M. y Ludden, P.W. 2008. Biosynthesis of the iron-molybdenum cofactor of nitrogenase. *Annual Review Microbiology*. 62: 93-111.
- Russo, V. M. 2006. Efficacy of bacterial or fungal soil amendments on vegetables following Peanut. *Hort Science*. 4 (16): 1399-2006.
- Russo, V. M. y Perkins, V. P. 2010. Yield and nutrient content of bell pepper pods from plants developed from seedlings inoculated, or not, with microorganisms. *HortScience*. 45: 352-358.
- Saharan, B. S. y Nehra, V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res LSMR* 21.
- Sánchez, A. V 2006 La fiesta del gusto: La construcción de México a través de sus comidas. *Opción*. 22: 9-25.
- Sánchez, M. D. y Ramírez, M. M. 2009. Efecto de Micorriza y fertilizantes orgánicos-biológicos en la producción de semilla de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L). 6ª Convención Mundial del Chile. Mérida, Yuc., México. pp. 274-280.
- Sánchez, P. M. 2007. Las Endomicorrizas: expresión bioedáfica de importancia en el trópico. Editorial Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira), Facultad de Ciencias Agropecuarias. p.351.

- Sanchez-Monedero, M. A.; Roig, A.; Cegarra, J.; Bernal, M. P.; Noguera, P.; Abad, M. y Antón, A. 2004. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Science and Utilization*. 12: 161-168.
- Sanders, D. C.; Reyes, L. M.; Monks, D. W.; Jennings, K. M.; Louws, F. J. y Driver, J. G., 2006. Influence of compost on vegetable crop nutrient management. *HortScience*. 41: 508-1508.
- Sandhya, V.; Ali, S. K. Z.; Grover, M.; Reddy, G. y Venkateswarlu, B. 2009. Alleviation of drought stress effects in sunflower seedlings by the exopolysaccharides producing *Pseudomonas putida* strain GAP-P45. *Biology and Fertility of Soils*. 46: 17-26.
- Sangwan, P.; Kaushik, C. P. y Garg, V. K. 2008. Vermiconversion of industrial sludge for recycling the nutrients, *Bioresource Technology*. 99: 8699-8704.
- Saravanakumar, D.; Harish, S.; Loganathan, M.; Vivekananthan, R.; Rajendran, L. y Raguchander, T. 2007. Rhizobacterial bioformulation for the effective management of *Macrophomina* root rot in mung bean. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*. 40: 323-37.
- Schachtman, D. P.; Reid, R. J. y Ayling, S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiol*. 116: 447-453.
- Schüßler, A., D. Schwarzott y C. Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Shenoy, V. V. y Kalagudi, G. M. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for cropping. *Biotechnology Adv.* 23: 501-513.
- Shokri, S. y Maadi, B. 2009. Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on the mineral nutrition and yield of *Trifolium alexandrinum* plants under salinity stress. *Journal Agronomy*. 8: 79-83.
- Singh, P. K. 2012. Role of glomalin related soil protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Agriculture Sciences Research Journal*; 2:119-25.
- Singh, R.; Sharma, R.R.; Satyendra-Kumar, S.; Gupta, R.K. y Patil, R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Bioresource Technology*. 99: 8507-8511.
- Smith, F. W.; Mudge, S. R.; Rae, A. L. y Glassop, D. 2003. Phosphate transport in plants. *Plant Soil*. 248: 71-83.

- Smith, S. E. y Read, D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. San Diego: Academic Press. pp. 26-160.
- Smith, S. E. y Read, D. J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Elsevier Academic Press. Third edition. Pp. 11-118.
- Surh, Y. J. 2002. More than spice: capsaicin in hot chili peppers makes tumor cells commit suicide. Journal Natural Cancer Institute. 94: 1263-1265.
- Surh, Y. J. y Lee, S. S. 1995. Capsaicin in hot chili pepper: Carcinogen, co-carcinogen or anticarcinogen? Food Chemical Toxicology. 34: 313-316.
- Suresh, C. K. and Bagyaraj, D. J. 2002. Mycorrhiza-Microbe Interactions: Effect on rhizosphere. En: A. K. Sharma and B. N. Johri (Eds.). Arbuscular Mycorrhizae. Interactions in plants, rhizosphere and soils. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA, Plymouth, UK. pp. 7-28.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. 5th ed. Sinauer Associates, Inc. 782 p.
- Tanaka, A. y Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Tank, N. y Saraf, M. 2010. Salinity-resistant plant growth promoting rhizobacteria ameliorates sodium chloride stress on tomato plants. Journal of Plant Interactions. 5: 51-58.
- Tarley, C. R. T.; Arruda, M. A. Z. 2004. Biosorption of heavy metals using rice milling by products. Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents, Chemosphere. 54: 987-995.
- Tejada, M.; Garcia-Martinez, A. M.; Gomez, I. y Parrado, J. 2010. Application of MCPA herbicide on soils amended with biostimulants: short-time effects on soil biological properties. Chemosphere. 80: 1088-1094.
- Terry, E.; Leyva, A. 2006. Evaluación agrobiológica de la inoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense* 30 (1): 65-73.
- Toljander, J. F.; Artursson, V.; Paul, L. R.; Jansson, J. K. y Finlay, R. D. 2006. Attachment of different soil bacteria to arbuscular mycorrhizal fungal extraradical hyphae is determined by hyphal vitality and fungal species. FEMS Microbiol Letters. (254): 34-40.
- Tomati, U.; Galli, E.; Grappelli, A. y Dihena, G. 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce seedlings. Biology and Fertility of

- Soil. 9: 288-289.
- Uribe, L.; Arauz, F. L.; Mata, M.; Meneses, G. y Castro, L. 2009. Efecto del vermicompostaje sobre las poblaciones de *Colletotrichum acutatum* y *Pectobacterium carotovorum* presentes en residuos de plantas. *Agronomía Costarricense*. 33 (1): 91-101.
- Vallejo, C. F. A. y Estrada, E. I. S. 2004. Producción de hortalizas de clima calido. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Cali Colombia. Pp112-138.
- Valles, G; Lugo, J; Rodríguez, Z. y Díaz, L. 2009. Efeceto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de planta de pimiento (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Revista de la facultad de Agronomía*. 26: 159-178.
- Van, Loon.; Bakker, L. C. y Pieterse, P. C. M. J. 1998 Systemic Resistance induced by Rhizosphere bacteria. *Annual Review of Phytopathology*. 36: 453-483.
- Vie, Rheilig. 2004. Horst. Regulatory mechanisms during the plant-arbuscular mycorrhizal fungus.
- Viruel, E.; Lucca, M. E. y Siñeriz, F. 2011. Plant growth promotion traits of phosphobacteria isolated from Puna, Argentina. *Arch Microbiol*. 193: 489-496.
- Wang, S. Y. y Lin, S. S. 2002. Compost as soil supplement enhanced plant growth and fruit quality of strawberry. *Journal Plant Nutrition*. 25: 2243-2259.
- Wehner, J.; Antunes, P. M.; Powell, J. R.; Mazukatow, J. y Rillig, M. C. 2010. Plant pathogen pro-tection by arbuscular mycorrhizas: a role for fungal diversity? *Pedobiologia*. 53:197-201.
- Weyens, N.; Van der Lelie, D.; Taghavi, S.; Newman, L. y Vangronsveld. 2009. Exploiting plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation. *Trends Biotechnol*. 27: 591-598.
- Willis, A.; Rodriguesb, B. F. y Harrisa, P. J. C. 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 32: 1-20.
- Wright, D. P.; Read, D. J. y Scholes, J. D. 1998. Mycorrhizal sink strength influences whole plant carbon balance of *Trifolium repens* L. *Plant Cell and Environment*. 21: 881-891.
- Wu, Q. S.; Li, G. H. y Zou, Y. N. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient acquisition of peach (*Prunus persica* l. Batsch) seedlings. *Journal of Anim Plant Sciences*. 21: 746-50.
- Xun, F.; Xie, B.; Liu, S. y Guo, Ch. 2015. Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPR)

and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation on oats in saline-alkali soil contaminated by petroleum to enhance phytoremediation. *Environ Science Pollut Research*. 22: 598-608.

- Yaseen, T.; Burni, T. y Hussain, F. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on nutrient uptake, growth and productivity of chickpea (*Cicer arietinum*) varieties. *International Journal Agronomy Plant Production*. 3: 334-345.
- Zahir, Z. A.; Arshad, M. y Frankenberger, Jr. W. T. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria application and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*. 81: 96-168.
- Zahir, Z. A.; Ghani, U.; Naveed, M.; Nadeem, S. M. y Asghar, H.N. 2009. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. *Archives Microbiology*. 191: 415-424.
- Zahir, Z. A.; Munir, A.; Asghar, H. N.; Shaharoon, B. y Arshad, M. 2008. Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of pea (*Pisum sativum*) under drought conditions. *Journal of Microbiology Biotechnology*. 18: 958-963.
- Zapata, P. J.; Serrano, M.; Pretel, M. T.; Amoros, A. y Botella, M. A. 2003. Changes in ethylene evolution and polyamine profiles of seedlings of nine cultivars of *Lactuca sativa* L. in response to salt stress during germination. *Plant Soil*. 164: 557-63.
- Zubek, S.; Stojakowska, A.; Anielska, T. y Turnau, K. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi alter thymol derivative contents of *Inula ensifolia* L. *Mycorrhiza*. 20: 497-504.
- Zubek, S.; Stefanowicz, A. M.; Błaszowski, J.; Niklińska, M. y Seidler-Łożykowska, K. 2012. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil microbial communities under contrasting fertilization of three medicinal plants. *Applied soil Ecology*. (59): 106-115.