

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto de Micorrizas Nativas y Comerciales Combinadas con Lombricomposta
en Tomate (*Solanum lycopersicum L.*), Bajo Invernadero

Por:

MARIO AGUSTÍN BENÍTEZ REYES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de Micorrizas Nativas y Comerciales Combinadas con Lombricomposta
en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Bajo Invernadero

Por:

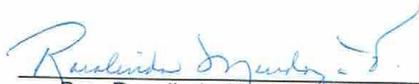
MARIO AGUSTÍN BENÍTEZ REYES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

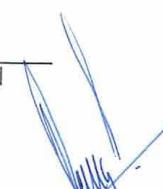
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

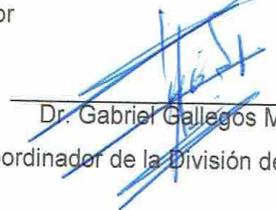
Asesor Principal


Dr. Valentín Robledo Torres

Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre, 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por brindarme vida y darme la oportunidad de seguir adelante por haberme acompañado todos los días por ser mi fortaleza, llenándome de salud y bienestar; y a seguir esforzándome más cada día encaminándome por el camino correcto.

UAAAN

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi Alma Terra Mater, por abrirme sus puertas y llenarme de sabiduría y conocimientos, ayudándome a prepararme profesionalmente cumpliendo unos de mis sueños.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Le agradezco por darme la oportunidad, la confianza, el apoyo de formar parte de este trabajo y así culminar una etapa más de mi vida, terminar mis estudios a nivel licenciatura.

Al M.C. Oscar Ávila Peralta

Quien formó parte indispensable para poder culminar este trabajo, por su desinteresada colaboración, brindándome el tiempo, apoyo y conocimiento.

Al Ing. Rafael Paredes Jácome

Quien me brindo su tiempo y conocimientos para la realización de este trabajo.

A todos los profesores que durante el transcurso de mi formación profesional me brindaron su apoyo incondicional y sus conocimientos.

DEDICATORIAS

Con todo el cariño, amor y respeto a mi gran familia por su apoyo y consejos, cual es mi gran motivación para seguir adelante.

A mi padre el Sr. Agustín Benítez López, aunque ya no estás conmigo, te doy gracias por tus sabios consejos, por el cariño y amor que me brindaste, por enseñarme a trabajar, a valorar las cosas y a las personas, guiarme a seguir adelante esforzándome cada día más, siempre estarás en mis pensamientos.

A mi madre Sra. Catalina Reyes Tapia por ser el pilar de la familia, brindándonos siempre el amor y cariño, estar siempre conmigo, apoyarme en cada etapa de mi vida, por tu confianza, consejos, enseñarme el valor de la vida e impulsarme a seguir adelante para ser un hombre de bien. Siempre te estaré infinitamente agradecido por todo lo que me has brindado, te amo mamá.

A mis hermanos Raquel, Ana, Marta, Roció, Luis y Moisés, por brindarme el cariño y amor durante toda mi vida, por motivarme a seguir adelante, el apoyo que me han brindado, estando conmigo en las buenas y en las malas, por el gran esfuerzo que hacen día a día por apoyarme se los agradezco infinitamente. A mis sobrinas Valeria y Lizbeth, por llenar de felicidad a la familia.

A mi madrina Juana y a mi padrino Felipe por estar siempre conmigo brindándome su apoyo, consejos y dándome ánimos para seguir adelante.

A Inéz Mendoza López por estar conmigo y formar parte importante en mi vida, te agradezco por el gran apoyo y confianza que has depositado en mí, por estar conmigo en las buenas y en las malas, y por darme la mayor alegría que es nuestra hija Melissa, mi ángel; mi motor que me impulsa a seguir adelante.

A mejores amigos Flor Reyes Santiago (mi ocní), Celerino Vázquez (chayo/chopper), Antonio Santiago (bibi) desde la secundaria y hasta el día de

hoy han formado parte de mi vida, con momentos inolvidables (chafaventuras), agradezco haberlos conocido.

A mis compañeros de cuarto, Antonio Bibiano Santiago Avendaño (bibi), Rosario Celerino Vázquez Benítez (chopper), Isaac Benjamín Vázquez Benítez (peico), cesar Antonio Avendaño Sánchez (grillo/yiyo), y a todas las personas que en algún momento compartimos el mismo techo, les doy gracias por todos esos momentos vividos durante los 5 años de la carrera. A mi primita Perla Tapia Mojica, a quien quiero mucho es como una hermana para mí.

A mis compañeros y amigos de generación que se volvieron parte importante de mi vida: Isaí, Said, Benjamín, Manuel, Billy, Juan, Alfredo, tano, Toñito, Ismael y a todo el grupo de la Machete Society UAAAN.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADRO	IV
INDICE DE FIGURA	V
ÍNDICE DE APÉNDICE	VI
I. RESUMEN	VIII
II. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	3
Hipótesis	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Los Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	4
Fertilizantes.....	8
Importancia de lombricomposta.....	9
Aplicación de la lombricomposta.....	11
Agricultura protegida	13
Ventajas	13
Desventajas/factor limitante	14
Concepto y definición de invernadero.....	14
Importancia de tomate	15
Producción mundial	16
Producción nacional de tomate.....	17
Clasificación botánica	18
Descripción botánica.....	18
Planta.....	18
Sistema radical	19
Tallo	19

Hojas.....	19
Flor.....	20
Fruto	20
Semilla	20
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Localización del experimento.....	21
Material vegetativo.....	21
Descripción de los Tratamientos.....	21
Inoculación.....	22
Obtención de la Micorrizas nativas	22
Trasplante	22
Riego y fertilización.....	23
Manejo del cultivo	23
Variables evaluadas.....	23
Análisis de los datos	24
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
Altura de la planta	29
Peso seco de follaje.....	30
Peso seco de raíz	31
Biomasa.....	32
Micorrización.....	33
Esporas.....	35
Fósforo total en planta	36
VI. CONCLUSIONES.....	37
VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

VII. APÉNDICE 46

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Principales municipios productores de tomate rojo.....	17
Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la planta de tomate.....	18
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos del experimento en plantas de tomate cv. Rio Grande.....	22
Cuadro 4. Cuadrados medios de análisis de varianza en la aplicación de hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	26
Cuadro 5. Comparación del efecto medio de tratamientos con hongos micorrízicos en plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) cv. Rio grande, mediante la prueba de Tukey.....	28
Cuadro 6. Comparación de medias de los tratamientos (Tukey) con concentraciones de P aplicado en plantas de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>) cv. Rio grande.....	29

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la altura de plantas de tomate.....	30
Figura 2. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre el peso seco de follaje de plantas de tomate.....	31
Figura 3. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre el peso seco de raíz de plantas de tomate.....	32
Figura 4. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre biomas de plantas de tomate.....	33
Figura 5. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la micorrización en plantas de tomate.....	34
Figura 6. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre esporas en plantas de tomate.....	35
Figura 7. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la altura de plantas de tomate.....	36

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis estadístico para la variable altura, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	46
Apéndice 2. Análisis estadístico para la variable peso seco de follaje, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	46
Apéndice 3. Análisis estadístico para la variable peso seco de raíz, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	47
Apéndice 4. Análisis estadístico para la variable biomasa, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	47
Apéndice 5. Análisis estadístico para la variable micorrización, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	48
Apéndice 6. Análisis estadístico para la variable esporas, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	48
Apéndice 7. Análisis estadístico para la variable fósforo total, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.....	49
Apéndice 8. Comparación de medias de altura, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	49

Apéndice 9. Comparación de medias de peso seco de follaje, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	50
Apéndice 10. Comparación de medias de peso seco de raíz, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	50
Apéndice 11. Comparación de medias de biomasa, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	51
Apéndice 12. Comparación de medias de micorrización, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	51
Apéndice 13. Comparación de medias de esporas, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	52
Apéndice 14. Comparación de medias de fósforo total, al aplicar hongos micorrízicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.....	52
Apéndice 15. Características físicas y químicas de la lombricomposta y el agua de riego utilizada en el cultivo de tomate cv Rio Grande.....	53

I. RESUMEN

Los Hongos Micorrízicos son asociaciones mutualistas entre raíces y plantas, y proporcionan beneficios diversos como la absorción de agua, fósforo (P) y nitrógeno (N); además de modificar las propiedades fisicoquímicas del suelo. En el presente estudio se planteó evaluar el efecto de un consorcio de Hongos Micorrízicos Arbusculares Nativos y uno comercial (*Rhizophagus irregularis*) y una solución nutritiva Steiner variando el P al 100, 75 y 50%, sobre el desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, en condiciones de invernadero.

Este experimento se estableció en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Se evaluó: una micorriza nativa, una micorriza comercial Endovit® y testigo (sin micorriza), tres concentraciones de P (100, 75 y 50%) en la solución nutritiva Steiner, y sus interacciones, cada tratamiento con cinco repeticiones. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial de AxB, se evaluó: altura de planta, peso seco de follaje y raíz, biomasa, porcentaje de micorrización, esporas y fósforo total en planta. Los datos se analizaron en el programa estadístico SAS versión 9.2. Los resultados demostraron que la micorriza nativa y la micorriza comercial incrementaron el crecimiento de la planta de tomate, porcentaje de micorrización cuando se redujo el fósforo de la solución nutritiva al 50 y 75%.

Palabras clave: micorrización, concentración fósforo

II. INTRODUCCIÓN

La combinación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), lombricomposta y fertilizantes convencionales pueden ser una alternativa para aumentar el rendimiento de los cultivos, además, la aplicación de microorganismos y abonos orgánicos mejoran la calidad de los productos hortícolas (Chakraborty *et al.*, 2008). El uso excesivo de fertilizantes químicos en los agroecosistemas ha provocado pérdida de la fertilidad del suelo y la diversidad microbológica de este, además son caros (Pool-Novelo *et al.* 2000), aunado a esto también las malas prácticas agrícolas han acelerado el deterioro ecológico del suelo, por lo tanto, es necesario buscar alternativas donde el suelo sea beneficiado, recuperando su diversidad microbológica. Los HMA son una buena opción para mejorar la nutrición de las plantas (Russo *et al.* 2005), por que facilitan la absorción de agua, fósforo (P) y nitrógeno (N), mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas, debido a una proteína exudada llamada glomalina (Finlay, 2008), que también influye de manera directa o indirecta en la absorción de otros iones minerales como el potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y manganeso (Mn), promoviendo el crecimiento de las plantas, especialmente en aquellos suelos donde estos nutrientes son escasos (Koltai y Kapulnik, 2010). Provoca una mayor tolerancia al déficit hídrico, así como la protección de las raíces contra patógenos a través de diversos mecanismos de acción, entre los que se encuentran: micoparasitismo, lisis enzimática, antibiosis y la competencia por espacio o nutrientes (Finlay, 2008). Por su parte los abonos orgánicos como la lombricomposta tienen un gran potencial para recuperar la fertilidad del suelo, por su alta capacidad de intercambio iónico (Albanell *et al.*, 1988) y equilibran la microbiología benéfica (Álvarez-Solís *et al.* 2010). Este abono orgánico es el resultado de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de las lombrices, contiene una gran cantidad de microorganismos y nutrimentos,

por lo que favorece la estructura y la actividad biológica del suelo, así como la nutrición vegetal (Álvarez-Solís *et al.*, 2010). De acuerdo a esto los HMA y la lombricomposta pueden ser utilizados como recuperadores de suelo y como sustrato mejorado con micorrizas para la producción de tomate.

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo con un alto valor económico, su demanda aumenta continuamente y con ella la producción (Rodríguez *et al.*, 2001). Sin embargo, existen pocos estudios combinando abonos orgánicos, micorrizas, lombricomposta y fertilizantes convencionales, una práctica que debe ser incorporada a los sistemas de producción hortícola (Nelson *et al.*, 2015).

Es importante mencionar que el efecto de la cepa de HMA inoculada depende de las condiciones edafoclimáticas y crecimiento (Corkidi *et al.*, 2004). Por otro lado, las especies de micorrizas comerciales pueden estar en desventaja por la competitividad con los microorganismos nativos del suelo, por lo que es recomendable utilizar cepas nativas (Caldera *et al.*, 2013). Por lo anterior, en el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar el efecto de un consorcio de hongos micorrízicos arbusculares nativos y una especie comercial (*Rhizophagus irregularis*) combinadas con un sustrato a base de lombricomposta y solución nutritiva Steiner variando el P, de 100, 75 y 50%, y estudiar el desarrollo de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio Grande, en condiciones de invernadero.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de HMA nativas y comerciales con diferente cantidad de fósforo sobre caracteres agronómicos en tomate.

Hipótesis

Al agregar esporas de micorrizas nativas o comerciales al cultivo de tomate se incrementará la asimilación de fósforo.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares

Se denomina micorriza a la simbiosis entre determinados tipos de hongos y las raíces de las plantas. Etimológicamente, y de acuerdo a los vocablos griegos significa mico “hongo” y riza “raíz”. Los dos principales tipos de micorrizas son las ectomicorrizas y las endomicorrizas. (Honrubia, 2009).

Las ectomicorrizas se caracterizan por que desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Los hongos que la forman son *Basidiomycota* como *Ascomycota* (Fernández, 2002). Mientras que las endomicorrizas se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas y arbusculos. Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta. Los hongos que la forman pertenecen a la división *Glomeromycota* y se manifiestan casi en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas (Fernández, 2002).

Los hongos micorrízicos son microorganismos que establecen una simbiosis con la mayoría de las plantas en el área de la raíz y son capaces de proveer diferentes nutrientes de forma asimilable, la cual contribuye al desarrollo de las plantas, ya que el micelio del hongo incrementa el área de absorción de la raíz de la planta hasta en 100 veces como lo menciona (Smith y Smith, 2012).

El principal beneficio que reciben las plantas inoculadas con hongos micorrízicos es la absorción y translocación del fósforo mediante las hifas ya que se extienden por toda el área radical, ya que este elemento se encuentra poco móvil y no disponible para la planta, mejora la absorción del agua así como hacer eficiente mecanismos de defensa contra patógenos (Faggioli *et al.*, 2008) de acuerdo también a este autor existen otros beneficios importantes que las micorrizas dan a las plantas como los siguientes:

- Mejoran el estado general de la planta al optimizar la absorción de los nutrientes en el suelo
- Permite el uso más eficiente del fósforo contenido en el suelo y aplicado con los fertilizantes
- Estimulan la nodulación y fijación de nitrógeno en las leguminosas al incrementar el flujo de fósforo hacia la raíz
- Incrementa la tolerancia de la planta a enfermedades al mejorar la nutrición de la planta y competir con los microorganismos patógenos por espacio en la raíz
- Inmoviliza algunos metales pesados como el zinc, cadmio y manganeso
- Optimizan el uso del agua y la tolerancia a la sequía
- Mejoran las estructuras del suelo ayudando a mantener unidos los agregados del suelo gracias al micelio y secreciones de glomalinas.

Los HMA producen la proteína llamada glomalina, el cual tiene actividad cementante en el suelo, al cubrir los agregados impide el movimiento del agua en la estructura de los agregados y lo hace más estable (Gonzales-Chávez *et al.*, 2004) este autor muestra algunos procesos por los cuales los HMA participan en la agregación del suelo:

1) Enlazamiento físico por desarrollo extensivo de las hifas externas en el suelo para crear un esqueleto estructural que participa en la adherencia de partículas del suelo.

- 2) Enlazamiento químico, debido al mucigel (glomalina) que las hifas producen y excretan en las raíces colonizadas y en el suelo.
- 3) creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de raíces e hifas externas.
- 4) Envolvimiento de microagregados en macroagregados pequeños y la creación de la estructura del macroagregado.
- 5) Protección contra los procesos de excesivo secado y humedecimiento de los agregados de los diferentes niveles jerárquicos, debido al carácter hidrofóbico de la glomalina.
- 6) Creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de otros microorganismos de la rizosfera que están involucrados en la formación y estabilidad de agregados.

Los HMA son capaces de proteger a la planta de patógenos, como nematodos, hongos y bacterias, así como también es capaz de compensar o superar las funciones de la raíz en la absorción de nutrientes y agua; y por su parte la planta compensa esta actividad fúngica aportando fuentes carbonadas para el hongo y este facilite su actividad metabólica (Marschner y Dell, 1994) así también inmovilizando metales pesados (Carreón *et al.*, 2008), por lo que la utilización de HMA combinadas con abonos orgánicos, pueden tener un efecto positivo en tanto al suelo como en el cultivo, por lo tanto se tendría una producción más sostenible, reduciendo así un porcentaje notorio de productos químicos fertilizantes minerales que deterioran el suelo.(Rodríguez R. *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2013).

Los HMA son simbioses obligados, no se pueden desarrollar bien si no es dentro de las plantas, forma una simbiosis con un 80% de las plantas terrestres, la planta se beneficia obteniendo nutrientes y agua y la micorriza obtiene fotosintatos de la planta, además de mejorar la absorción de nutrientes, mejora la tolerancia a la sequía, resistencia a metales pesados y a ciertas enfermedades. (García, 2017)

Los HMA en la agricultura contribuye a la mejora de la nutrición poniendo minerales de forma asimilable, reflejándose en la altura de planta, área foliar, y mayor contenido de materia seca, estos hongos pueden colonizar cualquier planta que establezca simbiosis con ellos, (Barrer, 2009). En este sentido Alvarado *et al.*, (2014) en un trabajo realizado en plantas de tomate inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares (*R. intraradices*) en invernadero, y bajo un sistema de fertirriego encontró un incremento significativo en cuanto a la colonización micorrízica, clorofila, altura de planta y se obtuvo una mejor calidad en el fruto, con un rendimiento acumulado del 30%.

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y Las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento de las Plantas (PGPR) son en la actualidad una alternativa en la agricultura sostenible. Estos microorganismos benéficos pueden permitir una reducción significativa de pesticidas y fertilizantes químicos, beneficiando así el crecimiento vegetal, con mayor rendimiento y calidad del cultivo, ayudando también a que la planta sea más resistente a patógenos, así como la biorremediación de metales pesados. (Sarabia *et al.*, 2010). De acuerdo a esto Pulido *et al.*, (2003) en un suelo Ferralítico rojo, estudió el efecto de la inoculación simple y combinada de Hongos Micorrízicos Arbusculares HMA y Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, (RPCV) tomando como criterio la evaluación de la altura y la longitud de raíz de la plántula. Encontrando que la aplicación de Rizobacterias combinados con Hongos Micorrízicos tanto en tomate y cebolla permitió obtener plántulas de buena calidad y longitud radical, siendo equivalentes a la fertilización mineral estos resultados también concuerdan con lo hecho por Hernández *et al.*, (2004) y por los realizados por Rodríguez *et al.*, (2007), solo que este último en cebolla.

Fertilizantes

Puede ser llamado fertilizante cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O). Los Fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes minerales y pueden ser de diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, cristales, polvo de grano grueso o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida. Pudiendo contener un sólo nutriente primario las cuales son denominados fertilizantes simples y aquellos que contiene dos o tres nutrientes primarios son llamados fertilizantes multinutrientes. (FAO e IFA, 2002)

Los fertilizantes químicos son mezclas químicas artificiales, contienen nutrientes específicos reúnen las necesidades de la tierra de acuerdo con el cultivo que se va a sembrar, los fertilizantes contienen elementos químicos denominados nutrientes, al ponerlos en la tierra son absorbidos por las raíces de las plantas. El uso adecuado del fertilizante requiere conocer sus características, su efecto en las plantas y el suelo, las formas de aplicación. (Gavi, 2007).

La solución nutritiva son nutrientes minerales esenciales disueltos en es el agua en concentraciones y proporciones adecuadas para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo. (Steiner, 1961) propuso el concepto de la solución nutritiva universal. Esta solución nutritiva clasifica a los nutrimentos según su carga eléctrica. Los aniones considerados el fosfato ($H_2PO_4^-$), el nitrato (NO_3^-) y el sulfato ($SO_4^{=}$), mientras los cationes considerados potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}). Y debe existir una relación entre estos para que las plantas puedan aprovecharlos al máximo. En una solución nutritiva debe cubrir los requerimientos nutrimentales de la planta para evitar deficiencia o consumo en exceso.

Los factores por considerar para la elaboración de la solución nutritiva como son: el pH, aportes del agua, sinergismos y antagonismos entre nutrientes, requerimientos específicos del cultivo, dosis de micronutrientes y los

nutrientes como sodio, cloruros, amonio y bicarbonato, así como la etapa fenológica del cultivo. (Castellanos, 2009). En hidroponía es importante la relación mutua entre los aniones y cationes, la concentración de nutrimentos (CE), la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$, el pH, y la temperatura. El pH debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0 (Lara, 2000).

Por otro lado, los fertilizantes orgánicos o abonos orgánicos de origen animal y vegetal como los estiércoles, compostas, lombricompostas aportan elementos minerales esenciales que ayudan al crecimiento, desarrollo y producción, estos abonos al ser aplicados al suelo mejoran características físicas químicas y biológicas del suelo. En cuanto a las características físicas ayuda a la estructura, porosidad, retención de agua. Entre las características químicas aumenta el contenido de materia orgánica, aumenta el N total, mejora el pH, mejora y regula la capacidad de intercambio catiónico y la concentración de sales. En cuanto a las características biológicas, hay un aumento en los microorganismos benéficos, por la agregación de material en descomposición, y por lo tanto una mejor estructura de suelo. (Trinidad, 2007: Mosquera *et al.*, 2010).

Importancia de lombricomposta

La lombricomposta es un proceso de transformaciones bioquímicas y microbiológicas, producido a partir de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foétida*), por su habilidad para digerir residuos orgánicos. (Rodríguez *et al.*, 2008: Ruiz, 2011), el sustrato generado es utilizado generalmente como mejorador de suelos y como sustrato en la producción de hortalizas, debido a que mejora la capacidad de retención de agua, y por su alto contenido de macronutrientes, así como micronutrientes, alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y una alta población microbiana benéfica necesarios para el cultivo.

La lombriz roja californiana (*Eisenia Foétida*), es la especie de mayor popularidad para la técnica de lombricomposteo, debido a su habilidad para digerir residuos orgánicos en condiciones de cautiverio y producir humus comercializable. Estas lombrices pueden consumir entre 50% y 100% de su peso diario y duplicar su población en 90 días (Lino, 2014) este autor también menciona algunas condiciones óptimas para las lombrices y así conseguir una buena lombricomposta como los siguientes:

- Ausencia de luz: las lombrices viven debajo de la superficie del suelo, no toleran bien la luz, por lo que aparte de estar en un recipiente tapado.
- Humedad: la presencia de cutícula permeable hace que pierda agua fácilmente, no les conviene que baje drásticamente la humedad, porque no solo paraliza la actividad, sino que puede reducirnos la población.
- Temperatura: el óptimo debe oscilar entre los 20°C, aunque resisten temperaturas entre los 4-30°C. Así cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.
- pH. No soportan valores inferiores a 4.5, la acidez les resulta desagradable, aunque algo leve pueden tolerarla.
- Alimentación. Prefiere los restos vegetales algo descompuestos con una relación C/N relativamente baja, esto hace que presenten una fuerte selectividad con respecto a la vegetación que existe sobre el suelo. Los restos de verduras y frutas de cocina son de su agrado en cuanto a la relación C/N.

García *et al.*, (2013). Mencionan que algunos de los principales beneficios que aporta la lombricomposta para el cultivo y también al suelo son los siguientes:

- Permite procesar residuos orgánicos de origen vegetal y animal.
- No existe peligro de sobredosis.
- Mejora la salud de la planta, haciéndola más resistente a plagas.

- Incrementa la flora microbiana y fauna que le permite participar en la regeneración del suelo en los terrenos de cultivo.
- Contiene hormonas de crecimiento y enzimas benéficas para el cultivo
- Los elementos minerales nutritivos como el Nitrógeno, Fósforo, Potasio están disponibles para la planta.
- Favorece la retención de agua en el suelo.
- Mejora las características, físicas químicas y estructurales del suelo.
- Contiene un pH neutro.
- No tiene vencimiento, se vuelve más asimilable mientras pasa el tiempo.

Aplicación de la lombricomposta

La aplicación de la lombricomposta o abono de lombriz al suelo dependerá de un análisis químico, por lo general se aplica de 2 a 4 ton/ha⁻¹ en los suelos, aplicándolo al momento del último paso de rastra, en forma conjunta con el fertilizante, con la semilla o al momento del deshierbe o aporque. En el caso de los árboles frutales se le aplica en la zona de goteo cubriéndoles con tierra (Martínez, 2007).

Velasco *et al.*, (2001) encontraron que en tomate de cascara adicionando lombricomposta ayuda a incrementar el porcentaje de colonización de hongos Micorrízicos y también aumenta positivamente la absorción de P y N por lo que concluyeron que la adición de lombricomposta combinada con hongos Micorrízicos u otros microorganismos benéficos aumenta la materia seca y el rendimiento en el cultivo de tomate de cascara. Por su parte Moreno *et al.*, (2005), reportó que la lombricomposta de diferentes fuentes orgánicas más arena como sustrato en el cultivo de tomate, bajo condiciones de invernadero satisfacen las necesidades del cultivo en desarrollo, teniendo diferencias mínimas significativas en cuanto a las variables evaluadas en sólidos solubles (°brix), número de hojas y frutos. En este contexto también Rodríguez *et al.*, (2008) En un trabajo realizado en el cultivo de tomate en invernadero utilizando

como sustrato lombricomposta, arena y adicionando solución nutritiva, encontraron que las plantas que tenían lombricomposta + arena + quelatos, generaron un rendimiento mayor a 200 t ha^{-1} , mayor contenido de sólidos solubles, por lo que concluyeron que la lombricomposta puede ser una opción viable para la producción de tomate orgánico en invernadero. Del mismo modo en otro trabajo similar Zaragoza-Lira *et al.*, (2011) en el cultivo de nogal pecanero aplicando composta (10 t-ha^{-1}) obtuvieron un mejor rendimiento, mejorando así la estructura del suelo evitando la compactación, la erosión, retención de humedad y en cuanto al contenido de N en el suelo fue lo suficiente para que no existiera déficit foliar, y de acuerdo con esto los macronutrientes estuvieron en concentraciones adecuadas para la planta.

Por su parte Nelson *et al.*, (2015) encontraron que en el cultivo de tomate bajo invernadero los efectos de los HMA *Glomus cubense* y el humus de lombriz, solo o combinados como sustitutos de la fertilización mineral a diferentes dosis. Reflejo mejoras en la altura y biomasa de la planta, así como en el rendimiento. Mientras que en la variable % de micorrización, se obtuvo una mayor colonización donde no se aplicó fertilizante. Finalmente, en el año (2015) Ávila-Peralta y colaboradores, evaluaron en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) variedad Rio Grande dos consorcios nativos de HMA (CN1 Y CN2) y una especie comercial (*Rhizophagus irregularis*) combinados con un sustrato a base de lombricomposta, turba acida, arena y suelo. Encontrando que el mejor sustrato para el desarrollo de las plantas de tomate fue la lombricomposta, teniendo un efecto positivo en el crecimiento, aumentando la concentración de N, P, K en toda la planta. Mientras que los Hongos Micorrízicos Nativos (CN1 Y CN2) aumentaron la micorrización, la biomasa total, la concentración de K en raíz. Y la respuesta del Hongo Micorrízicos comercial fue menor que la de los nativos.

Agricultura protegida

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos (Moreno *et al.*, 2011). Con ello, las modificaciones ambientales, logradas con cada uno de los tipos de estructuras, empleadas en la agricultura protegida, permiten ofrecer un medio más favorable para que las plantas expresen su potencial productivo sin las restricciones ambientales a que están sometidas cuando se desarrollan a campo abierto. (Huerta, 2012) este sistema permite ofrecer productos de alta calidad fuera de estación, con mejores precios de venta y con mayores niveles de inocuidad.

En México existen alrededor de 20,000 hectáreas bajo agricultura protegida (SAGARPA, 2013) de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernadero y las otras 8,000 corresponden a malla sombra y macro túnel entre otras estructuras. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%).

De acuerdo con (Portillo, 2006) existen ventajas y desventajas de los sistemas protegidos, los cuales son los siguientes:

Ventajas

- Aumentar la calidad y el rendimiento de los cultivos
- Obtener productos fuera de época, más ciclos de producción/año
- Control climático (temperatura y humedad relativa)
- Ahorro de insumos como agua y fertilizantes
- Mano de obra permanente y no estacional
- Disminuye costos de producción por unidad producida
- Producción de alimentos en lugares donde las condiciones climáticas y la disponibilidad de agua o de suelo no lo permiten
- Integra de manera más eficiente la producción primaria con grandes volúmenes y de calidad.

Desventajas/factor limitante

- La inversión inicial es alta
- Alto costo de operación
- Personal capacitado y especializado
- Alto grado de conocimiento del cultivo

Cambio de mentalidad del productor, accionista-inversionista

Concepto y definición de invernadero

La finalidad de los invernaderos es proteger cultivos de los factores y elementos adversos a su desarrollo, como las altas y bajas temperaturas, granizadas, vientos, lluvias torrenciales, calidad y cantidad de energía luminosa. Así también los factores que pueden ser controlados y modificados mediante el diseño, construcción y manejo apropiado del invernadero considerando la condición climática local y los requerimientos del cultivo. (Bastida, 2013)

Tapia (2009). Define por invernadero todo abrigo de construcción alta o baja, más o menos perfecta, con cubierta y paredes transparentes, cuyo acondicionamiento puede ser controlado y bajo el cual se cultivan variedades hortícolas y ornamentales convirtiéndose en instrumento de trabajo que permite controlar eficazmente los rendimientos en cantidad y calidad. Para Rodríguez *et al.*, (2013) El invernadero un espacio artificial donde se puede controlar aspectos de humedad, luz y temperatura para el cultivo. Es una estructura de producción con cubierta transparente para la penetración y difusión de los rayos solares, es capaz de aportar cosechas fuera de la época.

Juárez *et al.*, (2011) menciona 3 niveles de tecnificación de invernaderos en México, el cual se encuentran los siguientes:

1.-Tecnología baja: es 100% dependiente del ambiente, al hacer uso de tecnologías simples similares a las utilizadas en cultivo a intemperie.

2.-Tecnología media: corresponde a estructuras modulares o en batería que están semi-climatizadas, con riegos programados, y pueden ser en suelo o hidroponía. Por lo general la productividad y calidad es mayor que en el nivel anterior.

3.-Tecnología alta: en este nivel se incluyen instalaciones que cuentan con control climático automatizado, riegos, computarizados, inyecciones de CO₂, para ello cuentan con sensores y dispositivos que operan los sistemas de riego y ventilación, pantallas térmicas para el control de la iluminación y cultivo en sustratos.

Los invernaderos modernos son acondicionados con una serie de mecanismos y equipos necesarios para controlar la temperatura, la luminosidad, la humedad ambiental y del sustrato, la ventilación y aireación, aporte de CO₂, los riegos y la fertilización, de tal manera que a cada cultivo se le proporciona las mejores condiciones para su pleno desarrollo y máximo rendimiento. (Bastida, 2013). Con esto se ha logrado aumentar los rendimientos agrícolas a niveles superiores a los alcanzados en campo abierto mediante cualquiera de los sistemas de producción tradicional de la agricultura mecanizada (Juárez *et al.*, 2011).

Importancia de tomate

El tomate pertenece a la familia de las solanáceas es originario de la América del Sur, de la región andina, particularmente de Perú, Ecuador, Bolivia y Chile. Sin embargo, su domesticación fue llevada a cabo en México. El nombre de jitomate procede del náhuatl *xictli*, *ombligo* y *tomatl*, tomate, que significa tomate de ombligo (Monografía jitomate, 2010). Y ha sido durante siglos parte básica de la dieta humana, el tomate cultivado básicamente pertenece a la especie *L. esculentum*.

El cultivo de tomate es la especie hortícola más cultivada en todo el mundo, el fruto es parte importante en la dieta humana por ser consumida en diferentes presentaciones, aporta grandes beneficios para la salud por su alto valor nutricional, alto contenido de compuestos antioxidantes como carotenos, licopeno, betacarotenos, vitamina E, A y C, reforzando el sistema inmunológico, disminuyendo el riesgo de padecer algunos tipos de cánceres. (Cruz *et al.*, 2013)

Producción mundial

De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.7 % entre 2004 y 2014, para ubicarse en 5.0 millones de hectáreas. En el mismo período, los rendimientos promedio crecieron a un ritmo menor, de 1.2 % promedio anual, al ubicarse en 2014 en 34.0 toneladas por hectárea.

El 54.5 % de la superficie cosechada de tomate en 2014 se concentró en cuatro países: China (19.8 por ciento), India (18.8 por ciento), Nigeria (10.8 por ciento) y Turquía (6.4 por ciento). México ocupa la décima posición mundial, con el 1.9 por ciento de la superficie cosechada de esta hortaliza. (FAO, 2017). Los principales países productores de tomate según los datos realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2012) son, China con 23.75%, India con 8.29%, Estados Unidos con 6.26%, Turquía 5.38% y Egipto con 4.09%. En 2014, la producción mundial de tomate se ubicó en un máximo histórico de 170.8 millones de toneladas. Entre 2004 y 2014, ésta creció a una tasa promedio anual de 2.9 % (FAO, 2017).

Producción nacional de tomate

De acuerdo con estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), durante 2014 la producción anual de tomate fue de alrededor de 2.8 millones de toneladas, en tanto que datos del Sistema Producto indican que las exportaciones ascendieron a 20 mil millones de pesos.

En México los principales estados productores de tomate son, Sinaloa con 37%, Baja California con 7%, Michoacán 6%, Jalisco con 5% y Zacatecas con 5%, considerando los ciclos primavera-verano y otoño-invierno (SIAP-SAGARPA, 2014)

Así mismo la información recabada por (FIRA, 2017), La producción de tomate está altamente concentrada; en cinco entidades se produjo el 56.3 % del total nacional en 2016: Sinaloa (27.6 %), San Luis Potosí (9.2 %), Michoacán (7.0 %), Baja California (6.7 %), y Zacatecas (5.7 %).

Cuadro 1. Principales municipios productores de tomate rojo, 2016

Municipio	producción (toneladas)	valor de la producción (miles de pesos)	Participación (%)	
			producción	Valor de la producción
Culiacán, Sin.	368,041	1,843,213	11.0%	7.7%
Ensenada, B.C.	225,592	2,778,829	6.7%	11.6%
Navolato, Sin.	224,431	1,154,098	6.7%	4.8%
Elota, Sin.	102,054	536,163	3.0%	2.2%
Mulegé, B.C.S.	94,787	1,147,073	2.8%	4.8%
Guadalcázar, S. L. P.	52,433	439,710	1.6%	1.8%
Fresnillo, Zac.	50,170	207,030	1.5%	0.9%
Colon, Qro.	45,900	352,192	1.4%	1.5%
Villa de Guadalupe, S. L. P.	45,132	198,382	1.3%	0.8%
Moctezuma, S. L. P.	36,640	265,506	1.1%	1.1%
Otros	2,103,975	14,949,208	62.8%	62.6%
Total	3,349,154	23,871,404	100.0%	100.0%

Fuente: SIAP-SAGARPA

México está ubicado como el principal exportador de tomate en el mundo, de acuerdo con las estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) durante el 2014 la producción anual de tomate fue alrededor de 2.8 millones de toneladas, en tanto en datos de sistema producto indican que las exportaciones ascendieron a 20 mdp. Exportando a países como Estados Unidos, Canadá y algunos países europeos, con base en los altos estándares de calidad e inocuidad que han alcanzado los productores mexicanos, así como en el reconocido estatus sanitario del país. (SAGARPA, 2015).

Clasificación botánica

Cuadro 2. Clasificación taxonómica de la planta de tomate.

Reino: plantae

Subreino: Tracheobionta (plantas vasculares)

División: magnoliophyta (plantas con flores)

Clase: magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: asteridae

Orden: solanales

Familia: solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum lycopersicum* L.

Variedad: *Solanum lycopersicum* L. var *lycopersicum* L.

Fuente: ITIS y la CONABIO, 2016

Descripción botánica

Planta

La planta tomate es de estructura herbácea perenne, cultivada como anual, sensible al frío, puede presentar básicamente dos hábitos de

crecimiento: determinado e indeterminado. La planta indeterminada se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite. A diferencia de esta, la planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta en un crecimiento limitado (Monardes *et al.*, 2009).

Sistema radical

El sistema radical tiene como función principal de anclaje, absorción de agua y nutrientes, consta de una raíz principal pivotante pudiendo llegar hasta 2 metros de profundidad y muchas raíces adventicias formando una masa densa de cierto volumen, se encuentran en los primeros 30 cm. (Monardes *et al.*, 2009). Cuando la planta se trasplanta, la raíz principal se ve detenida en su crecimiento, en consecuencia, se favorece el crecimiento de las raíces secundarias que se desenvuelven entre los 5 y 70 cm de la capa del suelo. (Garza *et al.*, 2008).

Tallo

El tallo principal es herbáceo algo lignificado tiene 2 a 4 cm de diámetro en la base y está cubierto por vellosidades llamadas tricomas mismos que expiden un aceite oloroso característico, sobre el tallo se van desarrollando hojas, flores y frutos, en las axilas de las hojas salen los tallos secundarios. El tallo tiene la capacidad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo, característica importante que se aprovecha en las operaciones culturales de aporque dándole mayor anclaje a la planta. (Garza, 1985).

Hojas

Las hojas son compuestas, suaves y carnosas, formada por un eje central o peciolo, de las cuales en los laterales le salen folíolos peciolados. Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo, las cuales son las responsables de la fotosíntesis (Nuño *et al.*, 2007). De la misma manera que el

tallo, las hojas presenta tricomas glandulares con sustancias que le dan el olor característico de la planta (Garza *et al.*, 2008).

Flor

La flor del tomate es perfecta. Consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos y estambres, unidos formando un cono favorecen a la autopolinización. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como “racimos”. (Vallejo *et al.*, 2004). Las flores son de color amarilla normalmente pequeña de 1 a 2 cm de diámetro (Jaramillo *et al.*, 2007)

Fruto

Es una baya bi o pluricarpelar de color amarillo, a rojo por la presencia del licopeno, de forma y tamaño variable (Garza *et al.*, 2008). Puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos a 600 gramos. Está constituido por epidermis, el pericarpio, el tejido placentario, lóculos y las semillas (Nuño *et al.*, 2007). El fruto de tomate está unido al pedúnculo por medio de una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión. Algunas variedades no tienen este punto de abscisión se usan principalmente para procesamiento, el fruto se separa fácilmente del cáliz. En frutos tipo ensalada se recolectan con una porción de cáliz (Jaramillo *et al.*, 2007).

Semilla

La semilla del tomate es pequeña, con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm, éstas pueden ser de forma globular, ovalada, achatada, casi redonda, ligeramente alargada, plana, arriñonada, triangular con la base puntiaguda. La semilla está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal, la cual está recubierta de pelos. Las semillas dentro del lóculo, en sus últimas etapas de desarrollo, aparecen inmersas en una sustancia Gelatinosa. (Jaramillo *et al.*, 2007).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Este experimento se estableció en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son latitud N 25° 27' Longitud O 101°02', a una altura de 1610 msnm. Dentro del invernadero, la temperatura mínima y máxima ambiental promedio durante el periodo experimental fue de 18 a 38°C respectivamente mientras que la HR osciló entre un 30 y 75 %.

Material vegetativo

Como material vegetal se utilizó plántulas de tomate tipo saladette o roma, variedad Rio grande.

Las germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades como sustrato una mezcla de peat moss y perlita 70/30 v/v.

Descripción de los Tratamientos

En éste trabajo se estudió el factor A micorrizas, Micorriza nativa (MN), Micorriza comercial (MC) y Testigo sin micorriza(TSM), mientras que el factor B fueron tres concentraciones de fósforo, tomando como base la solución nutritiva Steiner(steiner,1961), al 50%, 75% y 100%, los nueve tratamientos resultantes (Cuadro 3) de un arreglo factorial AxB (3x3) fueron establecidos bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos del experimento en plantas de tomate cv. Rio Grande.

Tratamientos	(Factor A) Micorrizas	(Factor B) Concentración de P
1	Micorriza Nativa (MN)	50%
2	Micorriza Nativa (MN)	75%
3	Micorriza Nativa (MN)	100%
4	Micorriza Comercial (MC)	50%
5	Micorriza Comercial (MC)	75%
6	Micorriza Comercial (MC)	100%
7	Testigo Sin Micorriza(TSM)	50%
8	Testigo Sin Micorriza(TSM)	75%
9	Testigo Sin Micorriza(TSM)	100%

P= fósforo

Inoculación

La inoculación se realizó el mismo día del trasplante (28 de junio del 2014). Las plantas se inocularon con 500 esporas activas, contenidas en 100 gramos de suelo para las micorrizas nativas y un gramo del producto Endovit® para las micorrizas comerciales.

Obtención de la Micorrizas nativas

Fueron obtenidas de un suelo agrícola manejado de forma tradicional, del cual se recolectaron tres muestras con dos kilogramos cada una y la extracción fue por el método de tamizado y decantación (Guerderman y Nicolson, 1963). Hasta obtener una concentración de 500 esporas por cada 100 g de suelo.

Trasplante

El trasplante se realizó el día 28 de junio de 2014, teniendo plántulas de 15 cm de altura, en bolsas de polietileno de color negro, con un volumen de 5

litros, este volumen estuvo constituido por una mezcla de lombricomposta 30%, perlita 30%, peat moss 30% y suelo esterilizado 10%.

Riego y fertilización

Los riegos se efectuaron manualmente aplicando 1 litro de solución nutritiva Steiner por planta con el objetivo de obtener una fracción de lixiviado del 25%; los riegos se efectuaron cada 3 días.

Manejo del cultivo

El manejo del cultivo fue a un solo tallo con conducción vertical, y las podas de brotes laterales “chupones” se efectuaban conforme surgían. En el tutorado utilizó hilos de polietileno (rafia), amarrados a cables transversales de acero.

Variables evaluadas

Altura de planta: La cual se midió con una cinta métrica (cm) a partir de la base del tallo hasta la parte apical.

Peso seco: Esta actividad se realizó en el laboratorio de análisis de minerales y cultivo de tejido del departamento de Horticultura. Se separó la raíz y parte aérea de la planta fueron secadas en una estufa a 60⁰c por 72 H para obtener el peso seco de Raíz (PSR) y peso seco de follaje (PSF), utilizando una balanza digital marca *VELAB (VE-1000)*.

Biomasa: Se determinó mediante la suma de peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz.

Porcentaje de Micorrización: Para determinar el % de micorrización se realizó una evaluación a los 61 días utilizando 4 plantas por cada tratamiento, de las

cuales se separó la parte aérea y raíz, a esta última se le elimino el sustrato con agua de la llave para determinar el % de micorrización.

Para proceder a obtener el % de micorrización las raíces se colocaron en tubos de ensayo adicionando una solución de Hidróxido de Potasio (KOH) al 10% por 5 minutos a 60⁰c, posteriormente se agregó Peróxido de Hidrogeno (H₂O₂) al 10% para eliminar los residuos de KOH se dejó en reposo por 5 minutos y finalmente se adiciono lactoglicerol con azul de tripano para la tinción de raíces (Phillips y Hayman, 1970). El % de micorrización se obtuvo a partir de las raíces teñidas; se segmentaron las raíces por 1 cm de longitud, colocando 10 segmentos en un portaobjetos con tres repeticiones para su posterior observación en microscopio (10x y 40x) (Sieverding, 1983).

Esporas: El conteo de esporas se obtuvo a partir de la evaluación de 100 g de la rizosfera donde estaban sembradas las plantas de tomate mediante el método de tamizado húmedo y decantación (Guerderman y Nicolson, 1963).

Concentración de Fósforo: En raíz y parte aérea se determinó la concentración de P por el método colorimétrico de molibdato de amonio (AOAC, 1990).

Análisis de los datos

Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$ utilizando el programa SAS (Statistical Analysis system) versión 9.2.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los cuadrados medios del análisis de varianza (ANVA) (Cuadro 4) se muestran diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) entre tratamientos dentro del Factor A, en las variables Altura de planta (AP), Peso Seco de Follaje (PSF), Peso Seco de Raíz (PSR), Biomasa (BIO), Micorrización (MICO1), Esporas (ES). Mostrando que estas variables respondieron de forma diferente a la aplicación de micorrizas. Los cuadrados medios del ANVA también mostraron diferencias significativas entre los niveles del Factor B (concentraciones de fósforo), en las variables AP, PSF, MICO1 y ES.

El análisis de varianza muestra diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.001$) en la interacción Factor A \times Factor B, para las variables Altura de planta (AP), Peso seco de Follaje (PSF), Peso seco de Raíz (PSR), Biomasa (BIO), Micorrización (MICO1), Esporas (ES) y contenido de Fósforo Total (ETP).

Cuadro 4. Cuadrados medios de análisis de varianza en la aplicación de hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

FV	GL	AP	PSF	PSR	BIO	MICO1	ES	ETP
Factor A	2	279.39**	15.89NS	1149.20**	1188.28**	24742.08**	321.72**	0.09NS
Factor B	2	669.79**	122.84**	15.10NS	99.13NS	130.30**	54.89**	0.03NS
A x B	4	1289.20**	524.71**	926.681**	1468.60**	284.18**	57.11**	0.92**
REP	3	5.24	5.68	12.39	8.62	10.80	0.53	0.01
ANOVA P		≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001
ERROR	24	55.32	86.97	82.16	200.81	49.90	6.72	0.10
TOTAL	35	2292.93	756.07	2185.53	2965.43	25217.25	440.97	1.16
CV		1.38%	3.34%	6.31%	3.35%	2.96%	9.57%	6.44%

Factor A = Tratamientos de Micorrizas; Factor B = Concentración de P; AP= altura de planta; PSF= peso seco de follaje; PSR= peso seco de raíz; BIO= biomasa; MICO1= micorrización (%); ES= esporas/100g de suelo; ETP= extracción total de fósforo; *p≤0.05; ** p≤0.001

Dado que se encontraron diferencias significativas en el Factor A, se realizaron comparaciones de medias en las variables Altura de planta (AP), Peso Seco de Follaje (PSF), Peso Seco de Raíz (PSR), Biomasa (BIO), Micorrización (MICO1), Esporas (ES).

Se encontró que las plantas sin micorrizas tuvieron una altura 5.9% mayor altura que el tratamiento con micorrizas comerciales resultado similar obtuvo Ávila-Peralta *et al* 2015 en cultivo de tomate en el cual, al utilizar micorrizas redujo la altura de planta. El PSR en el tratamiento sin micorrizas fue 51.5 % y estadísticamente superior al tratamiento con micorrizas (Cuadro 5) con el menor valor de PSR, esto indica que el uso de micorrizas influyó negativamente en el desarrollo radicular, esto puede deberse por la aplicación concentraciones de P en la solución nutritiva, ya que a dosis altas de P tienen efecto negativo en la

asimilación de los nutrientes en plantas con micorrizas. Así mismo el tratamiento TSM presentó un valor estadísticamente superior y 14.9% mayor al observado en el tratamiento con MN (Cuadro 4), indicando que los tratamientos con micorrizas afectaron el desarrollo de plantas, disminuyendo la biomasa, esto puede ser porque recibieron fertilización química con diferentes dosis de P, afectando a los hongos micorrizicos, resultado similar obtuvo Ávila- Peralta *et al* 2015 en tomate obtuvo menor biomasa al utilizar micorrizas y fertilización química. Pero diferente a lo reportado por Nelson *et al.*, 2015 quien encontró que la biomasa se incrementa en cultivo de tomate utilizando una especie diferente de micorriza *Glomus cubense*.

En relación con el tratamiento con MC fue el que presentó un valor estadísticamente superior a los tratamientos con MN y al tratamiento TSM, en las variables, Mico y ES, indicando que el tratamiento con MC tuvo una mayor capacidad de reproducción de las micorrizas que el de MN y desde luego muy superior a los valores encontrados en los tratamientos sin aplicación de micorrizas.

Los tratamientos con micorrizas presentaron un 9.7% mayor cantidad de P más que el tratamiento sin micorrizas. De acuerdo con Wang *et al* 2008 el uso de micorrizas, se aumenta la solubilidad de P.

Cuadro 5. Comparación del efecto medio de tratamientos con hongos micorrízicos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio grande, mediante la prueba de Tukey.

Factor A	AP (cm)	PSF (g)	PSR(g)	Bio. (g)	MICO	ES	ETP (%)
MN	108.34b	55.99 a	26.08 b	82.07 b	66.17 b	7.16 b	1.02 a
MC	107.37b	57.58 a	24.59 b	82.18 b	68.04 a	8.08 a	1.06 a
TSM	113.70a	57.06 a	37.25 a	94.31 a	11.52 c	1.33 c	0.93 b
ANOVA <i>P</i>	≤0.0001	NS	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0001	≤0.0003

Factor A = Tratamientos de micorrizas; AP= altura de planta; PSF= peso seco de follaje; PSR= peso seco de raíz; BIO= biomasa; MICO= micorrización (%); ES= esporas/100g de suelo; ETP= extracción total de fósforo; *p≤0.05; ** p≤0.001

El cuadro 6 muestra que la Solución de Steiner al 75% indujo la mayor altura de planta, superando estadísticamente a los tratamientos con el 50 y 100% de la solución de Steiner, sin embargo, estos tratamientos fueron estadísticamente iguales en el PSF, pero superiores al tratamiento con el 50%. El tratamiento con la solución Steiner al 100% indujo la mayor BIO, superando a los dos tratamientos restantes, pero el tratamiento con la menor concentración de P fue el que promovió una mayor micorrización (Cuadro 6), aunque en el tratamiento con la solución de Steiner al 100% se encontraron mayor cantidad de esporas y fue en los tratamientos con menor cantidad de P aplicado donde se encontraron las mayores cantidades de extracción de P por parte de las plantas de tomate.

Cuadro 6. Comparación de medias de los tratamientos (Tukey) con concentraciones de P aplicado en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cv. Rio grande.

Factor B	AP (cm)	PSF (g)	PSR(g)	Bio. (g)	MICO	ES	ETP (%)
100 P	105.09c	58.49 a	29.69 a	88.19 a	46.09 c	7.25 a	0.97 b
75 P	115.51a	54.29 b	29.83 a	84.12 b	48.93 b	4.41 b	1.04 a
50 P	108.81b	57.87 a	28.39 a	86.25	50.71 a	4.91 b	1.01 ba

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey. 0.05). Factor B = Tratamientos de concentración de P; AP= altura de planta; PSF= peso seco de follaje; PSR= peso seco de raíz; BIO= biomasa; MICO= micorrización (%); ES= esporas/100g de suelo; ETP= extracción total de fósforo.

Interacción de Micorrizas con la aplicación en las concentraciones de P

Se ha indicado que existe una alta cantidad de fósforo hay una menor cantidad de raíces colonizadas, como lo señala Constantino *et al.*, (2010) donde encontró que, con dosis altas de fósforo, afectó el desarrollo de la colonización micorrízica en raíz de papaya, en este sentido se encontró que se encontró una interacción significativa entre el factor AxB, para todas las variables estudiadas, como se indica a continuación.

Altura de la planta

A las plantas que fueron inoculadas con Micorriza Nativa MN1 aumenta la altura, con el incremento de la concentración de P 50 a 75 %, pero al aplicarle una concentración más elevada esta disminuye (Figura 2), en las plantas que se inoculó Micorriza Comercial MC esta tuvo mejor efecto con una concentración de 50% P al aplicarle una dosis elevada también tiende a disminuir. En las plantas sin inocular se aumentó la altura con el 75%P, al

aplicar una concentración más elevada se mantiene la misma altura. (Figura 3). En un trabajo realizado por Castillo *et al.*, (2009) en el cultivo de chile (*Capsicum annuum L.*) cv. cacho de cabra, usando HMA nativos y comerciales, se encontró que la altura de planta fue mayor con la inoculación con Micorrizas nativas seguidas de las comerciales. Mientras que Mujica *et al.*, (2013) utilizó el HMA (*Glomus cubense*) y una solución nutritiva reduciendo a la mitad el contenido de fósforo; en cuanto a la variable altura de planta encontró una respuesta favorable en plantas inoculadas con HMA superando al testigo sin inocular. La inoculación de micorrizas nativas y comerciales en las plantas de tomate tiene un mejor efecto, principalmente cuando se suministran concentraciones de P del 50 y 75% de la solución de Steiner.

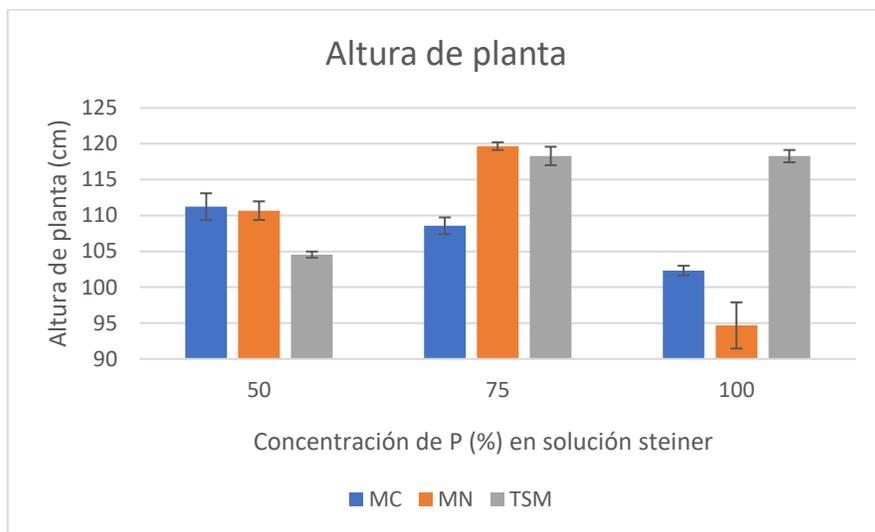


Figura 1. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la altura de plantas de tomate.

Peso seco de follaje

En relación con el PSF se encontró que al utilizar las micorrizas MN éste PSF se incrementó conforme se incrementa la concentración de P (Figura 2). Teniendo mayor peso seco en las plantas inoculadas con MC y una fertilización al 50% P, al aplicarle una concentración más elevada esta disminuye. En

cuanto a las plantas sin inocular, no varía mucho el peso al aplicarle las diferentes dosis de P, tiene un comportamiento casi lineal. Chamizo *et al.* (2009) encontró que usando HMA el consorcio *Glomus spp.*, la inoculación combinada con las bacterias *P. aeruginosa* y las tres cepas de *Hafnia alvei* en alfalfa, se produjeron incrementos significativos en el peso seco de la parte aérea, con respecto a los tratamientos testigo. Mujica (2014) en cultivo de tomate también encontró mayor materia seca en plantas inoculadas con Hongos Micorrizicos y en Chile (*Capsicum frutescens L.*) Jiménez *et al.*, (2017) al usar HMA encontraron resultados favorables en cuanto al peso seco de área foliar.

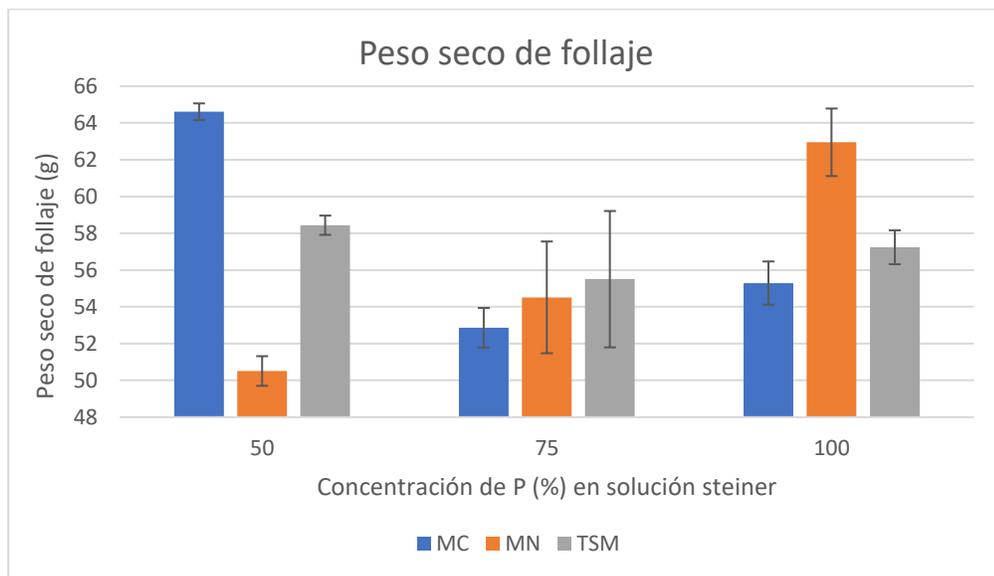


Figura 2. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre peso seco de follaje en plantas de tomate.

Peso seco de raíz

Las plantas de tomate inoculadas con MN aumentan su peso seco de raíz con el incremento de la concentración de P de 50 a 75%, superior a esta concentración disminuye (Figura 3), mientras que en las plantas de tomate inoculadas con MC presenta mejor peso seco de raíz al aplicar 50% P,

concentraciones más elevadas esta decrece. En las plantas de tomate no inoculadas, se presentó mayor peso seco de raíz con un 100%P. Resultado similar tuvo Aguirre *et al.*, (2002) al inocular hongos micorrizicos y fósforo en plantas de frijol, incrementó el desarrollo del vástago, pero redujo el peso seco del sistema radical. Mientras que Mujica (2009) en el cultivo de tomate al inocular HMA y con 50 a 75% NPK tuvo un efecto positivo en cuanto al peso seco de raíz, mientras que Hernández (2012) usando micorriza comercial marca Endovit en el cultivo de tomate encontró que al inocular 800 esporas tuvo un peso seco de raíz, 21.78% mayor que al testigo.

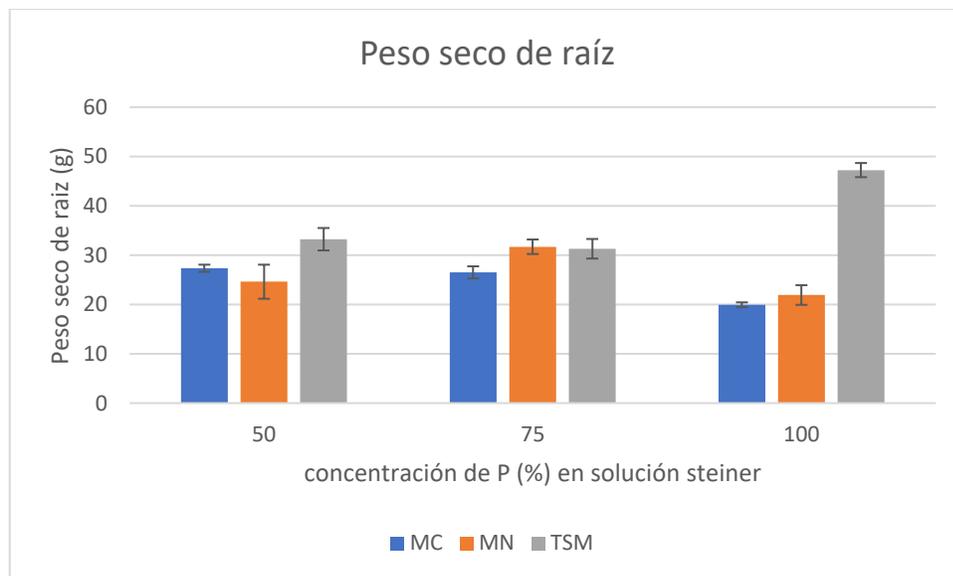


Figura 3. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre el peso seco de raíz de plantas de tomate.

Biomasa

En las plantas inoculadas con Micorriza MN y concentración de 75% P se logró un incremento de biomasa, pero a concentración de 100%P disminuye ligeramente (Figura 4). Las plantas inoculadas con Micorriza MC tienen mayor Biomasa al aplicar una concentración de 50% P, pero al aumentar la concentración de P tienen un efecto decreciente. En las plantas sin inocular presenta una mayor cantidad de biomasa al aumentar la concentración de P.

Dell'Amico *et al.*, (2002) en el cultivo de tomate encontraron que la infección con la micorrízica *Glomus clarum*, favoreció significativamente la acumulación de biomasa total, presentando incrementos de 25.4%, y las plantas inoculadas sometidas a estrés solo redujeron el 5.5% de biomasa. En un trabajo realizado por Ley-Rivas *et al.*, (2015) en el cultivo de tomate usando cepas de HMA *Glomus sp.1*, *Glomus sp.2*, *G. clarum*, *G. intraradices*, inoculando 500 esporas de la cepa HMA, encontraron que a los 60 días el valor del testigo fue muy inferior (aproximadamente 4 veces) a los tratamientos con micorrizas.

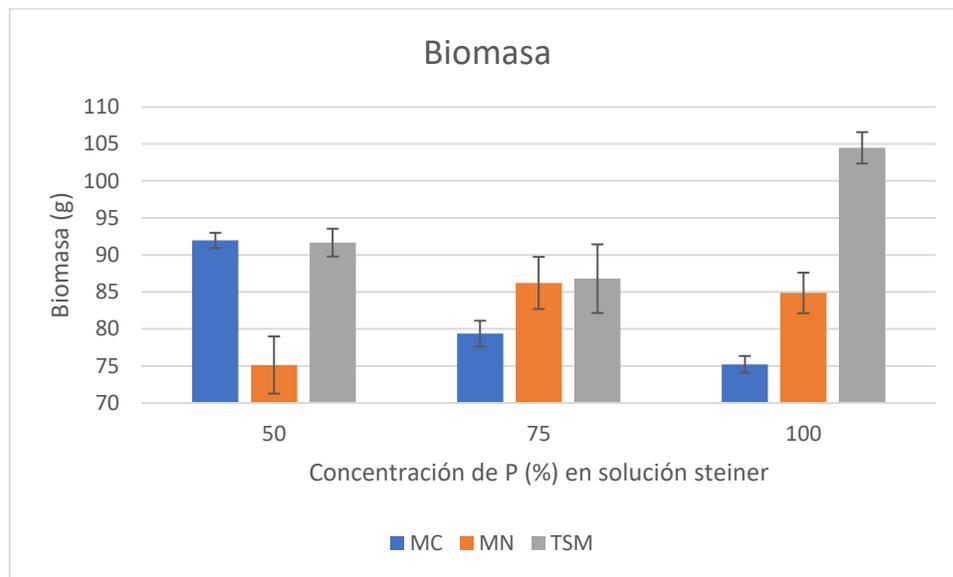


Figura 4. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la biomasa de plantas de tomate.

Micorrización

En las plantas inoculadas con MN y concentraciones de 50 y 75% P, se encontró la mayor micorrización, pero al aplicar una concentración más elevada de P, la micorrización tiende a disminuir (Figura 5), en las plantas que se le inocularon MC tuvieron mayor Micorrización al aplicar una concentración de 50%P, pero al aumentar la concentración de P esta tiende a decrecer. Las plantas sin inocular presentaron un % bajo de micorrización, se sugiere que se presentó una contaminación previa a la utilización del material, pudiendo ser al momento de producir las plántulas o en el agua de riego utilizada en el

experimento en el momento de extracción del pozo profundo pudo obtener algunas esporas de micorriza. En el trabajo realizado por Velasco *et al.*, (2001) en tomate de cáscara en donde utilizó Hongos Micorrízicos (*G. Intraradix*), Rizobacterias (*A. brasilense*) y vermicomposta, evaluó la colonización micorrízica teniendo como resultado en plantas con vermicomposta + *Glomus Intraradices* tuvo el mayor % de colonización con un 62% a los 60 días después de siembra, mientras que el testigo tuvo un 26%. En el trabajo realizado por Gardizi (2011) en calabacita inoculando HMA tuvo porcentaje mayor a 70% de Micorrización en plantas inoculadas. Así mismo Terry y Leyva (2006) realizaron un trabajo en tomate, donde se utilizó el Hongo Micorrízico (*Glomus clarum*) y Rizobacteria (*Azospirillum brasilense*), combinados y por separado, evaluando la colonización micorrízica, encontrando en plantas inoculadas con *Glomus clarum* un porcentaje superior al 45%, superando al testigo.

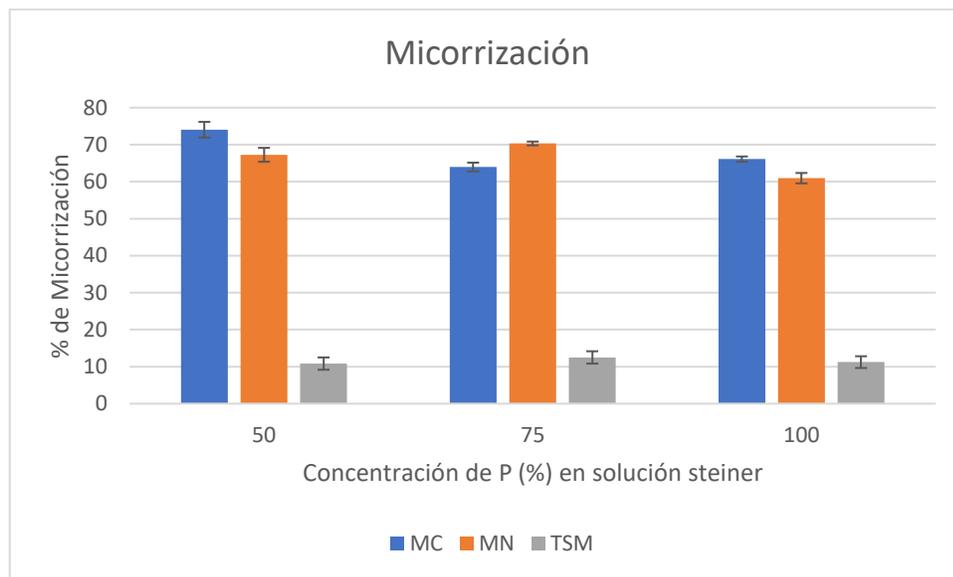


Figura 5. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre la micorrización de plantas de tomate.

Esporas

En las plantas de tomate inoculadas con Micorriza Nativa se aumentó la cantidad de esporas con el incremento gradual de las concentraciones de P (Figura 6), para las plantas inoculadas con Micorriza Comercial MC disminuye la cantidad de esporas al aplicar una concentración de P al 75% pero con 50 y 100%P fue mayor la cantidad de esporas. Mientras que, en las plantas no inoculadas las diferentes concentraciones de P, no influyeron en la cantidad de esporas. Resultados similares fueron encontrados por Rodríguez *et al.*, (2010) en el cultivo de Aji (*Capsicum spp*) usando micorrizas y biofertilizantes, ya que encontraron la mayor población de esporas/g (51esporas) en suelo inoculado con HMA (Tratamiento con fertilización química+ fuentes orgánicas+ Micorrizas) en comparación con otros tratamientos y el testigo. Así mismo Barrera *et al.*, (2012) en plantas de plátano, encontró que con la combinación de géneros de micorrizas tuvo un mayor número de esporas en suelo, que en las plantas sin inocular.

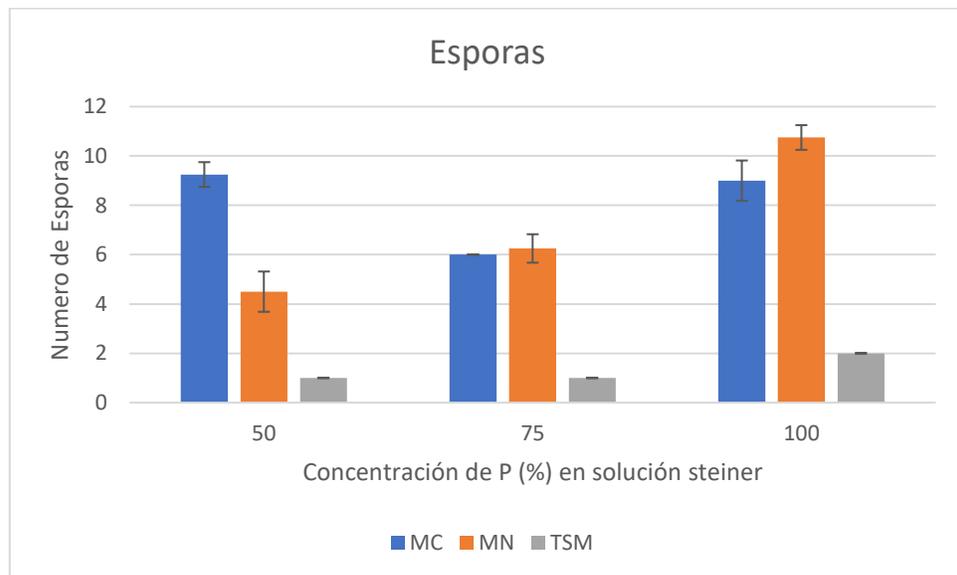


Figura 6. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre esporas en plantas de tomate.

Fósforo total en planta

La mayor extracción total de fósforo fue observada en plantas de tomate inoculado con Micorriza Nativa MN y con una concentración de 50% P, pero al aumentar la concentración de P tiende a decrecer (Figura 7), en las plantas inoculadas con la MC se muestra la misma tendencia que en la MN, ya que el mayor valor fue observado con la aplicación de una concentración de 50%P. En las plantas no inoculadas se incrementa el fósforo total en planta al aumentar las concentraciones de P. En el trabajo realizado por Llonín y Medina (2002) en cultivo de tomate usando HMA y fertilización mineral encontraron en análisis de fosforo total de 0.46% superando al testigo sin micorriza. Así mismo Orna (2009) usando el producto EcoFungi (*Glomus aggregatum*, *Glomus intraradices* y *Glomus Mosseae*) y fertilización fosfórica, encontrando en el contenido de fósforo en planta, fue superior en los tratamientos que se aplicó micorriza y fertilización fosfórica superior al 0.45%P, mientras que el testigo (sin micorriza) solo obtuvo 0.32%

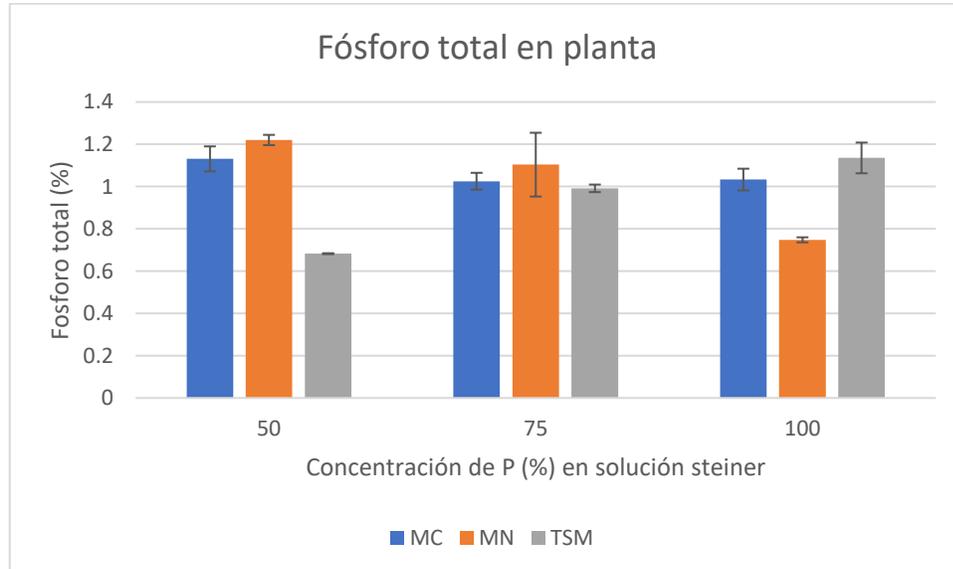


Figura 7. Interacción micorrizas: dosis de fósforo sobre fósforo total en plantas de tomate.

VI. CONCLUSIONES

Las plantas inoculadas con Micorriza Nativa y Micorriza Comercial MC, presentaron un aumento en la Micorrización, número de esporas en suelo, y en fósforo total, en comparación con las plantas sin inocular. Las mejores concentraciones de fósforo fueron del 50 y 75 % y la aplicación HMA reducen la dosis de fertilizante mineral hasta un 50% en las variables altura, micorrización, esporas, fósforo total.

VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre M.J., Kohashi S.J., 2002. Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de Fósforo en frijol común. *Agricultura Técnica en México*. 28 (1):23-33.
- Álvarez-Solís, J.D., D.A. Gómez-Velasco, N.S. León-Martínez & F.A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.
- Albanell, E.; Plaixats, J. y Cabrero, T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biol. Fertility Soil*. 6:266-269.
- Alvarado C. M., Díaz F. A., & Peña del Río, M. D. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 5 (3):513-518.
- Ávila-Peralta, O., Mendoza-Villarreal, R., Valdez-Aguilar, L. A., Rodríguez Campos, E. M., Hernández-Pérez, A., & Cárdenas-Flores, A. 2015. Crecimiento y estado nutricional de tomate en respuesta a sustratos orgánicos y hongos micorrízicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 12:2409-2422.
- Barrer, S. E. 2009. el uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 7(1):124-132
- Barrera V. J., Oviedo Z. L., Barraza A. f., 2012. Evaluación de Micorrizas Nativas en plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en fase de vivero. 61 (4):315-324.
- Bastida T. A., 2013. Los invernaderos y la agricultura protegida en México. Universidad Autónoma Chapingo.
- García C. M., Navarro E. M. G., Velázquez L. C. y Velázquez L. J., 2013. Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. *Estudios Agrarios. Procuraduría agraria*: 1:217-225.

- Castillo C. G., Ortiz C. A., Borie F. R. y Rubio R. E., 2009. Respuesta de Aji (*Capsicum Annuum L.*) cv. "Cacho de cabra" a la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares. Información Tecnológica. 20 (4):3-14.
- Chakraborty, B.; Chandra, A. K. and Chakraborty, S. K. 2008. Efecto del suministro integrado de nutrientes sobre el crecimiento, el rendimiento de las hojas y el rendimiento en el campo de la Morena (*Morus alba*) bajo condiciones de suelo laterítico semirregado, Oeste de Bengal. J. Environ. Socio. 5 (2):221-226.
- Chamizo, A., Ferrera-Cerrato R., González-Chávez M. C., Ortiz-Solorio C. A., Santiago-Rincón J. A., Varela L. y Alarcón A., 2009. Inoculación de Alfalfa con Hongos Micorrizicos Arbusculares y Rizobacterias en dos tipos de suelo. Terra Latinoamericana. 27 (3):197-205.
- Cruz B. M. R., González G. J. y Sánchez C. P., 2013. Propiedades funcionales beneficios para la salud del licopeno. Nutr Hosp. 28 (1):6-15.
- Cruz H. Y., García R. M., León G. Y., Acosta A. Y., 2014. Influencia de la aplicación de Micorrizas Arbusculares y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco. Cultivos Tropicales. 35 (1): 21-24
- Dell'Amico J., Rodríguez P., Torrecillas A., Asun M. y Sánchez-Blanco M., 2002. Influencia de la micorrización en el crecimiento y las relaciones hídricas de plantas de tomate sometidas a un ciclo de sequía y recuperación. Cultivos tropicales. 23 (1):29-34.
- Espinoza C. A., Ruiz M. L., Rivera E. R., Espinoza C. E., 2015. Efecto del Nitrógeno y Hongos Micorrízicos Arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo pardo mullido carbonatado. INIVIT. Centro Agrícola. 42 (2):39-46.
- FAO.2012. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://faostat.fao.org>.
- FAO e IFA, 2002. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura & Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. Los Fertilizantes y su uso. Cuarta edición, Roma:33-40

- Faggioli, V., Freytes, G., & Galarza, C. 2008. Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo. Publicación Técnica INTA EEA Marcos Juárez. Argentina:3
- Fernández, R. 2008. Las micorrizas: desenterrando un tesoro. Instituto de Ecología y Sistemática. Agricultura Organica. 1:22-25
- Finlay R. D. 2008. Aspectos ecológicos de la simbiosis micorrízica: con especial énfasis en la diversidad funcional de las interacciones que implican el micelio extraradical. Reino Unido. J. Exp. Bot. 59 (5):1115-1126.
- Gavi R. A. 2007. Uso de fertilizantes. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Colegio de postgraduados. Ficha 12. Edo de México:2
- Garza, L. J. 1985. Las hortalizas Cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, UACH. Chapingo, México:4
- Garza A. M.; Molina V. M., 2008. Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León. Mexico:29.
- García C. M., Navarro E. M. G., Velázquez L. C. y Velázquez L. J., 2013. Elaboración de abono orgánico a base de lombriz roja californiana. Estudios Agrarios. Procuraduría agraria: 1:217-225.
- García, S. D. 2017. Micorrizas, los Biofertilizantes del Futuro que Vienen del Pasado. Artículos técnicos de Intagri. México. Serie Nutrición Vegetal. 90:5
- González-Chávez M.C.A.; Gutiérrez-Castorena M.C.; Wright S. 2004. Hongos micorrizicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. Terra latinoamericana. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A.C. 22 (4):507-514.
- Hernández M., Chailloux M. 2004. Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. Cultivos Tropicales. 25 (2):5-12
- Helber, N., Wippel, K., Sauer N., Schaarschmidt S., Hause B., Reuqena N. 2011. Un transportador de monosacáridos versátil que opera en el hongo

- micorrízico arbuscular *Glomus sp* es crucial para la relación simbiótica con las plantas. *The plant cell*. 23:3812-3823.
- Honrubia, M. 2009. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. In *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 66:133-144.
- http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=521671. Consulta: febrero, 2016.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V. P.; Guzmán M.; Zapata M.; Rengifo T., 2007. Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la Producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas. CORPOICA centro de investigación. La Selva Rionegro, Antioquia, Boletín Técnico. 1ª Edición. Colombia:58
- Jiménez I.J., Ramírez M., Petir B., Colmenares C. y Parra I., 2017. Efecto de Hongos Arbusculares y Estiércol de bovino en el crecimiento inicial y pigmentación en *Capsicum frutescens L.* *Bioagro*. 29 (2):137-144.
- Juárez L. P., Bugarín M. R., Castro B. R., Sánchez-Monteón, Cruz-Crespo, Juárez R. C., Alejo S., Balois M., 2011, Estructuras utilizadas en la Agricultura Protegida. Unidad Académica de Agricultura, universidad autónoma de Nayarit, Departamento de fitotecnia, universidad autónoma Chapingo. 3 (8):21-27.
- Lara H. 2000. Manejo de solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*. 17 (3):221-229.
- Ley-Rivas J. F., Sánchez J. A., Ricardo N. E., y Collazo E., 2015. Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense*. 39 (1):47-59.
- Lino M. A. 2014. Manual de lombricomposta, fundamentos y principios para su manejo. Valle de María A.C. San Cayetano, Mpio. San Luis de la Paz Guanajuato. México:25
- Llonín D.; Medina, N., 2002. Nutrición Mineral con N, P y K en la simbiosis Hongos Micorrizógenos-Tomate (*Lycopersicon esculentum Mil.*) en ferralsols. *Cultivos Tropicales*. 23 (4):83-88.

- Martínez C. C. 2007. Lombricultura. Lombricultura técnica mexicana. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Ficha Técnica 6. Texcoco, Edo. de México:7
- Monardes M. H., Escalona C. V., Alvarado V. P., Urbina Z. C., y Martín B. A., 2009. Manual del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Nodo Hortícola. Chile:10
- Moreno R. A., Valdez P., M. T., & Zarate L. T. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. Agricultura técnica. Chile. 65 (1):26-34.
- Moreno R. A., Aguilar D. J., y Luévano G. A., (2011) Características de la Agricultura Protegida y su Entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. 15 (29):763–774.
- Mosquera B., Escandón S., Coral P. y Puente F. N., 2010. Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan una alimentación sana. Manual técnico. Fondo para la protección del agua (FONAG). 1ª Edición. Ecuador:12
- Mujica P. Y., 2009. Efectividad de la inoculación líquida con HMA en la nutrición del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en suelo ferralítico rojo lixiviado. Tesis de maestría. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana:48
- Mujica P. Y., Batlle S. J., 2013. Funcionamiento de la inoculación líquida con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). Cultivos Tropicales. 34 (4):5-8.
- Mujica P. Y., de la Noval B. y Amico R.J., 2010. Respuesta del cultivo de tomate a la aplicación de dos inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares por vías diferentes de inoculación. Agronomía Tropical. 60 (4):381-387.
- Mujica P. Y; Mena E. A; Medina C. A; Rosales J. Pedro., 2014. Respuesta de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) a la Biofertilización líquida con *Glomus cubense*. Cultivos Tropicales. 35 (2):21-26.
- Nelson J. C., Nelson J. M., 2015. Uso y manejo de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y Humus de lombriz en tomate (*Solanum*

- lycopersicum L.*), bajo sistema protegido. Cultivos tropicales. 36 (1):55-64.
- Orna C. A., 2009. Evaluación del efecto de aplicación de micorrizas en la producción de tomate riñón (*Solanum lycopersicum L.*) bajo invernadero. Tesis de licenciatura. Facultad de recursos naturales, Escuela de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 42-43
- PooL-Novelo L. A. Trinidad-Santos J. Etchevers-Barra J. Pérez-Moreno & A. Martínez-Garza. 2000. Mejoradores de la fertilidad del suelo en la agricultura de ladera de Los Altos de Chiapas, México. Agrociencia 34:251-259.
- Portillo M. A., 2006. Manual de la Agricultura Protegida los 5 pilares. Escuela Panamericana Zamorano. Editorial: Escuela Agrícola Panamericana 2014. Fichero:213235. Honduras. 7-8
- Pulido L. E., Medina N. y Cabrera A. 2003. La Biofertilización con Rizobacterias y Hongos Micorrizicos en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) y cebolla (*Allium cepa L.*) Crecimiento vegetativo. Cultivos Tropicales. 24 (1):15-24.
- Ramos H. L., García R. Y., Lescaille A. J., Telo C. L., Arozarena D. N. J., Ramírez P. M., & Martín A. G. M. 2013. Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. Cultivos Tropicales. 34 (1):05-10.
- Rodríguez D. N., Cano R. P., Figueroa V. U., Palomo G. A., Favela C. E., Álvarez R. V., Márquez H. C. y Moreno R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Revista Fitotecnia Mexicana. 31 (3):265-272.
- Rodríguez, R. K., & 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, Bolivia. Acta Nova. 3 (4):697-719.

- Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, 2001. Cultivo moderno de tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España: 255.
- Ruiz M. M., 2011. Lombricomposta. Universidad Iberoamericana. 1ª Edición. México:13
- SAGARPA, 2015. Producción de tomate México. www.sagarpa.gob.mx.
- Sarabia O. M., Madrigal P. R., Martínez T. M., y Carreón A. Y., 2010. Plantas, hongos micorrizicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biologicas*. 12 (1):65-71.
- Smith, S. E., & Smith, F. A. 2012. Nuevas perspectivas sobre el papel de los hongos micorrízicos arbusculares en la nutrición y crecimiento de las plantas. *Mycologia*, 104:1-13.
- Gardizi H. S., 2011. Hongos Endomicorrízicos combinados con composta en calabacita Hidropónica en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo.
- Tapia F. M., 2009, Sistema de crecimiento controlado, departamento de producción agrícola.
- Terry A. E., y Leyva G. A., 2006. Evaluación agrobiologica de la coinoculación micorrizicas-rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*. 30 (1):65-73.
- Trinidad S., A. 2007. Abonos orgánicos. Colegio de postgraduados. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesa y Alimentación (SAGARPA).
- USDA. 2016. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. <http://plants.usda.gov/java7profile?symbol=SOLY2>.
- Velasco, V. J., Ferrera-Cerrato, R., & Suárez, J. A. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*. 19:241-248.
- Wang C, Li X, Zhou J, Wang G, Dong Y. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of cucumber plants. *Comm Soil Sci Plant Anal*. 39: 499-509.
- Zaragoza-Lira M. M.; Preciado-Rangel P.; Figueroa-Viramontes U.; García-Hernández J. L.; Fortis-Hernández M.; Segura-Castruita M. A.; Lagarda-

Murrieta A.; Madero-Tamargo E. 2011. Aplicación de composta en la producción de nogal pecanero. Revista Chapingo. Serie Horticultura.17 (1):33-37.

VII. APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis estadístico para la variable altura, al aplicar hongos Micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	279.386667	139.693333	60.60	<.0001
FERTI	2	669.785000	334.892500	145.28	<.0001
MICO*FERTI	4	1283.193333	320.798333	139.17	<.0001
Rep	3	5.238611	1.746204	0.76	0.5289

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	102.3 25	111.2 25	108.5 75	94.67 5	110.6 75	119.6 75	118.2 75	104.5 5	118.3
Des std	0.665	1.871	1.158	3.218	1.297	0.537	0.857	0.420	1.288

Apéndice 2. Análisis estadístico para la variable peso seco de follaje, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	15.8828722	7.9414361	2.19	0.1336
FERTI	2	122.8410722	61.4205361	16.95	<.0001
MICO*FERTI	4	524.7116444	131.1779111	36.20	<.0001
Rep	3	5.6753444	1.8917815	0.52	0.6712

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	64.61	52.86 25	55.29	50.51	54.51 5	62.94 75	58.43 75	55.50 25	57.24
Des std	0.453	1.076	1.176	0.806	3.039	1.835	0.522	3.708	0.922

Apéndice 3. Análisis estadístico para la variable peso seco de raíz, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	1149.192617	574.596308	167.84	<.0001
FERTI	2	15.098517	7.549258	2.21	0.1321
MICO*FERTI	4	926.681567	231.670392	67.67	<.0001
Rep	3	12.388822	4.129607	1.21	0.3288

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	27.345	26.507	19.935	24.617	31.702	21.92	33.23	31.2925	47.24
Des std	0.725	1.230	0.496	3.453	1.472	1.995	2.271	1.983	1.434

Apéndice 4. Análisis estadístico para la variable biomasa, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	1188.275939	594.137969	71.01	<.0001
FERTI	2	99.130072	49.565036	5.92	0.0081
MICO*FERTI	4	1468.596578	367.149144	43.88	<.0001
Rep	3	8.615767	2.871922	0.34	0.7943

	MC 50	MC 75	MC100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	91.95	79.37	75.22	75.12	86.21	84.86	91.66	86.79	104.48
Des std	1.045	1.743	1.123	3.865	3.519	2.746	1.880	4.637	2.121

Apéndice 5. Análisis estadístico para la variable micorrización, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	24742.07567	12371.03784	5950.46	<.0001
FERTI	2	130.29949	65.14974	31.34	<.0001
MICO*FERTI	4	284.17671	71.04418	34.17	<.0001
Rep	3	10.80227	3.60076	1.73	0.1872

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	74.05	63.975	66.1	67.26	70.325	60.95	10.832	12.4975	11.232
Des std	2.120	1.175	0.711	1.883	0.518	1.401	1.665	1.665	1.588

Apéndice 6. Análisis de estadístico para la variable esporas, al aplicar hongos micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	321.7222222	160.8611111	574.31	<.0001
FERTI	2	54.88888889	27.44444444	97.98	<.0001
MICO*FERTI	4	57.11111111	14.27777778	50.98	<.0001
Rep	3	0.5277778	0.1759259	0.63	0.6039

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	9.25	6	9	4.5	6.25	10.75	1	1	2
Des std	0.5	0	0.816	0.577	0.5	0.957	0	0	0

Apéndice 7. Análisis estadístico para la variable fósforo total, al aplicar hongos Micorrízicos combinados con 3 concentraciones de P en tomate cv Rio Grande.

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
MICO	2	0.10076644	0.05038322	12.29	0.0002
FERTI	2	0.02795829	0.01397915	3.41	0.0497
MICO*FERTI	4	0.91225871	0.22806468	55.64	<.0001
Rep	3	0.01202462	0.00400821	0.98	0.4196

	MC 50	MC 75	MC 100	MN1 50	MN1 75	MN1 100	Q 50	Q 75	Q 100
Media	1.130	1.025	1.033	1.220	1.103	0.748	0.682	0.991	1.135
Des std	0.059	0.039	0.051	0.024	0.150	0.011	0.002	0.017	0.072

Apéndice 8. Comparación de medias de altura, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
B	108.3417	MN1
B	107.3750	MC
A	113.7083	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
C	105.0917	100
A	115.5167	75
B	108.8167	50

Agrupamiento de las medias para la variable altura de planta de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 9. Comparación de medias de peso seco de follaje, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
A	55.9908	MN1
A	57.5875	MC
A	57.0600	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
A	58.4925	100
B	54.2933	75
A	57.8525	50

Agrupamiento de las medias para la variable peso seco de follaje en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 10. Comparación de medias de peso seco de raíz, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
B	26.0800	MN1
B	24.5958	MC
A	37.2542	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
A	29.6983	100
A	29.8342	75
A	28.3975	50

Agrupamiento de las medias para la variable peso seco de raíz en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Apéndice 11. Comparación de medias de biomasa, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
B	82.071	MN1
B	82.183	MC
A	94.314	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
A	88.191	100
B	84.128	75
AB	86.250	50

Agrupamiento de las medias para la variable biomasa en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 12. Comparación de medias de micorrización, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
B	66.1783	MN1
A	68.0417	MC
C	11.5208	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
C	46.0942	100
B	48.9325	75
A	50.7142	50

Agrupamiento de las medias para la variable micorrización en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 13. Comparación de medias de esporas, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
B	7.1667	MN1
A	8.0833	MC
C	1.3333	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
A	7.2500	100
B	4.4167	75
B	4.9167	50

Agrupamiento de las medias para la variable esporas en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 14. Comparación de medias de fósforo total, al aplicar hongos micorrizicos y 3 concentraciones de P en plantas de tomate cv Rio Grande.

Tukey Agrupamiento	Media	Factor A
A	1.02583	MN1
A	1.06250	MC
B	0.93833	Testigo
Tukey Agrupamiento	Media	Factor B
B	0.97333	100
A	1.04167	75
AB	1.01167	50

Agrupamiento de las medias para la variable fósforo total en tomate mediante la comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), medias con la misma letra no son significativamente diferentes

Apéndice 15. Características físicas y químicas de la lombricomposta y el agua de riego utilizada en el cultivo de tomate cv Rio Grande.

Análisis de lombricomposta			Análisis de agua	
Característica	Valor	Clasificación	Concentración iones (Meq/L ⁻¹)	
pH	8.4	Alcalino	Ca ⁺²	4.2
CE=dS/cm ⁻¹	2.6	salino	Mg ⁺²	3.9
Materia orgánica (%)	5	Muy alto	Cl ⁻	1.38
Da (g/cm ³)	0.67		SO ₄ ⁻²	5.9
N=Meq/L ⁻¹	0.62	bajo	HCO ₃ ⁻	5.9
P=Meq/L ⁻¹	0.60	Medio		
K=Meq/L ⁻¹	1.30	bajo		

Las propiedades químicas de la lombricomposta y el agua de riego utilizada, fue considera para la formulación de la solución nutritiva (SN).