

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Calidad en Frutos de Tomate Variedad Río Grande al Inocular
Micorrizas Nativas y Comerciales con Lombricomposta.

Por:

LEONEL ESPINOSA MORALES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Calidad en Frutos de Tomate Variedad Río Grande al Inocular
Micorrizas Nativas y Comerciales con Lombricomposta

Por:

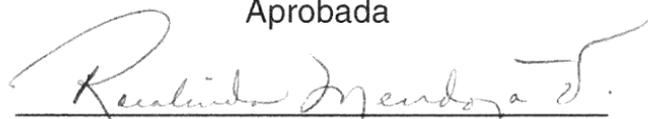
LEONEL ESPINOSA MORALES

TESIS

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

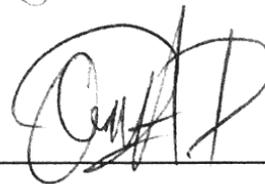
Aprobada



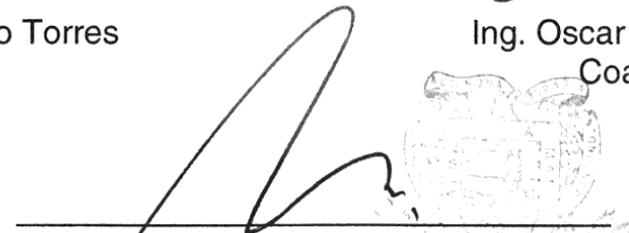
Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Asesor Principal



Dr. Valentín Robledo Torres
Coasesor



Ing. Oscar Ávila Peralta
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2015

DEDICATORIAS

A mi padre; **mi roca, mi guerrero, mi fuerza y gran ejemplo a seguir...** Omar Espinosa Pérez, porque cada día que transcurre, me enseña a comprender lo difícil de adquirir el papel doble, ser papá y mamá, con esa seriedad y sencillez que le caracteriza, en pocos y complejos consejos me transmitió amor y años de experiencia, sacrificó su tiempo y nunca perdió la fe en mí.

A mi madre; En paz descanse, **mi más preciado tesoro, la más linda y sencilla Flor** Martha Morales López, a pesar de no poderla ver, siempre existió en mis pensamientos y corazón latiendo con más fuerza, guiándome y ayudándome a levantar en mis fracasos, dificultades y golpes de la vida y fue en ti que pude encontrar la grandeza de ser humilde, y que dar no significa siempre recibir.

A ambos por darme la vida, por los consejos y enseñanzas, y por el tiempo que dedicaron para poder formarme, son el motivo de mi orgullo y el motor de seguir luchando por mis sueños, muchas gracias y se los seguiré agradeciendo.

A mis hermanos Blanca Magali, Elmer y Darinel, que a pesar de ser muy diferentes siempre buscamos la forma de poder unir nuestras diferencias para poder afrontar los golpes de la vida, y aun así seguiremos demostrando al mundo que el perder una batalla no quiere decir que hayamos perdido la guerra, recordando que el ser humildes no significa ser menos...

A mi abuela Natividad a pesar de sus ya muchos años aún sigue dándome grandes sorpresas con sus inmensas ganas de vivir y seguir luchando, motivando con sus palabras y consejos sabios, que no se olvidarán.

A Lalis y Kelly que han formado parte de mi familia, a Lalis que con sus consejos y palabras me apoyó y por tener el valor de aceptarnos como su familia, a Kelly mi media hermana, a pesar de no ser completamente de la misma sangre tenemos mucho en común, y con su actitud positiva me da el coraje para poder ser mejor.

A mi cuñado y compadrito Juan, y mis cuñadas María Magdalena y Maryflor por su apoyo incondicional, comprensión y paciencia y por ya ser parte de mí y a mis sobrinos Raudy Yair y Omar Francisco, un motor más en mi vida.

Por las gotas de sudor, por las noches en vela, por el tiempo, por el apoyo, consejos y por todas y mil formas en que me apoyaron se los agradezco.

Esto será la mejor de las herencias, lo reconozco y lo agradeceré eternamente y el lugar que en mi mente ocuparon los libros, ahora será para ustedes, me toca a mí ver por ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, y por su infinita bondad, paciencia y amor que me da en cada una de las pruebas durante el transcurso de los días, y por guiarme por el camino correcto.

A mi Alma Terra Mater, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente y cumplir uno de mis anhelos.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal, por la oportunidad de poder formar parte de este trabajo y por ayudarme a terminar satisfactoriamente mis estudios de nivel licenciatura, se lo agradezco infinitamente.

Al Ing. Oscar Ávila Peralta y al Dr. Armando Hernández Pérez, les agradezco por el apoyo, paciencia, tiempo, dedicación, consejos y por los conocimientos. No olvidando su gran valiosa personalidad, y por darme la oportunidad de poder ser parte de este trabajo.

Al Dr. Valentín Robledo Torres y al Dr. Alberto Sandoval Rangel por su participación en la revisión de este trabajo, como su disponibilidad en todo momento y por contribuir en mi formación como profesionista.

A todos los profesores y personal de la universidad que estuvieron conmigo durante mi preparación profesional, por ser todos y cada uno de ellos un gran ejemplo a seguir

A Joel, Arimael, Ever Antonio (el flaco), David, Andrés, Miguel, Daricel, Felipe y Mónica (los tortolos), Sántiz, Iván, Floriberto, Pablo, Chaparro, Paco, Diego, Salvador, Armando, Rodolfo, Inés del Rocío, Sonia, Mabeli, Ángeles, Angelita, Nelly, Deysi, Ana Rosy, Rocío, Alik, Daniela, Soledad, Caty, Inés, Carla, Mariela, María, Miriam, Maguiz, Nelly Flori, Norelia Yulissa, Olga, por darme su tiempo y ser parte de mi vida, como también me enseñaron a seguir luchando por mis sueños y, por compartir conmigo tantas experiencias y por permitirme aprender tanto de ustedes.

A la generación CXVIII de Horticultura y a todos mis amigos, compañeros y todas las personas que convivieron conmigo y me brindaron su apoyo durante mi estancia en la UAAAN.

A mis abuelos, tíos y tías de la familia Espinosa Pérez y Morales López, así como todos mis primos hermanos, a la familia Campos y Morales, por nunca perder la fe en mí, por los sabios consejos

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE DE CUADROS.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	Vi
RESUMEN.....	Vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia del tomate.....	4
2.2. Origen y domesticación.....	5
2.3. Generalidades del cultivo.....	5
2.3.1. Descripción taxonómica del tomate.....	5
2.4. Descripción botánica.....	6
2.4.1. Raíz.....	6
2.4.2. Tallo.....	6
2.4.3. Hojas.....	7
2.4.4. Flor.....	7
2.4.5. Fruto.....	8
2.4.6. Semilla.....	8
2.5 Fenología del cultivo.....	8
2.6. Requerimientos edafoclimáticos.....	9
2.6.1. Temperatura.....	9
2.6.2. Luz y fotoperiodo.....	10
2.6.3. Humedad del suelo y humedad relativa.....	11
2.7. Particularidades del cultivo de tomate.....	12
2.7.1. Distancia de siembra.....	12
2.7.2. Trasplante.....	13
2.7.3. Poda.....	13
2.7.4. Riego.....	14
2.7.4.1. Requerimientos de agua del cultivo.....	14
2.8. Nutrición.....	15
2.9. pH.....	16
2.10. Biofertilizantes.....	16
2.10.1. Beneficios de los biofertilizantes.....	17
2.11. Micorrizas.....	18
2.11.1. Principales tipos de micorrizas.....	19
2.11.2. Micorrizas endótrofas, vesículo arbusculares o endomicorrizas (VAM).....	19
2.11.3. Ectomicorrizas o micorrizas autótrofas.....	19
2.11.4. Las Ectoendomicorrizas o micorrizas ectoendotróficas.....	20
2.11.5. Importancia de los (HMA).....	20
2.11.6. Usos de las micorrizas.....	22
2.11.7. Beneficios de las micorrizas para las plantas.....	22
2.11.8. Beneficio de las micorrizas para el suelo.....	23
2.12. Lombricultura.....	24
2.12.1. Humus de lombriz.....	25
2.12.2. Usos y beneficios de la lombricomposta.....	26

2.12.3. Obtención de humus líquido de lombriz.....	27
2.12.4. Usos y aplicación del abono de lombriz.....	28
2.12.5. Composición y características de la lombricomposta.....	28
2.12.6. Ventajas del uso de lombricomposta.....	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Localización del experimento.....	31
3.2. Material genético.....	31
3.3. Tratamientos.....	31
3.4. Metodología.....	32
3.4.1. Preparación del terreno.....	32
3.4.2. Llenado de contenedores y esterilización.....	32
3.4.3. Trasplante.....	32
3.4.4. Inoculación.....	32
3.4.5. Obtención del CHM.....	32
3.4.6. Características de la lombricomposta y agua.....	33
3.4.7. Tutorio.....	34
3.4.8. Podas.....	34
3.4.9. Riegos.....	34
3.5. Variables evaluadas.....	34
3.5.1. Diámetro polar y ecuatorial.....	34
3.5.2. Sólidos solubles totales (°Brix).....	34
3.5.3. pH.....	35
3.5.4. Vitamina “C”.....	35
3.5.5. Licopeno.....	35
3.5.6. Ácidos titulable.....	36
3.6. Diseño experimental.....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. Diámetro polar y ecuatorial.....	38
4.2. Sólidos solubles totales (°Brix).....	39
4.3. pH.....	40
4.4. Vitamina “C”.....	41
4.5. Licopeno.....	42
4.6. Ácidos titulable.....	43
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. LITERATURA CITADA.....	46
VII. Apéndice.....	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Temperaturas y efectos producidos en el tomate.....	9
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales del cultivo del tomate (Kg/ha).....	16
Cuadro 3. Composición del humus sólido de lombriz.....	27
Cuadro 4. Comparación entre lombricomposta y productos químicos.....	27
Cuadro 5. Características físicas y químicas de la lombricomposta utilizada para el cultivo de tomate var. Rio grande y análisis de agua.....	31
Cuadro 6. Tratamientos del experimento realizado en invernadero con plantas de tomate. Var. Rio grande. Utilizando micorrizas nativas y comerciales con diferentes concentraciones de P.....	33
Cuadro 7. Efecto de las concentraciones de P y hongos micorrízicos en planta de tomate cv. Rio grande sobre parámetros del crecimiento y calidad nutraceutica de fruto.....	37
Cuadro 8.1. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable diámetro polar del fruto del cultivo de tomate.....	56
Cuadro 8.2. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable diámetro ecuatorial del fruto del cultivo de tomate.....	56
Cuadro 8.3. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable SST (°Brix) del fruto del cultivo de tomate.....	56
Cuadro 8.4. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable pH del fruto del cultivo de tomate.....	56
Cuadro 8.5. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable vitamina "C" del fruto del cultivo de tomate.....	56
Cuadro 8.6. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable licopeno del fruto del cultivo de	

tomate.....	57
Cuadro 8.7. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable acides titulable del fruto del cultivo de tomate.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el diámetro polar y ecuatorial de fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	38
Figura 2. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el °Brix del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	39
Figura 3. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el pH del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	40
Figura 4. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en la vitamina “C” del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	41
Figura 5. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el licopeno del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	42
Figura 6. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculados en la acides titulable del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.....	43

RESUMEN

Una alternativa muy importante que puede utilizar la agricultura, es la combinación de microorganismos, como los HMA y la lombricomposta, alternativas biotecnológicas capaces de funcionar como mejoradores de la estructura del suelo, viables para incrementar y mejorar la producción y disminuir el uso de fertilizantes químicos. El experimento se estableció en un invernadero tipo dos aguas o capilla dentro del área del establo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, de julio a noviembre del 2014, con el objetivo de determinar parámetros de calidad en frutos de tomate inoculadas con consorcios de micorrizas nativas y comerciales combinadas con lombricomposta, se utilizaron plántulas de tomate c.v. Rio grande, las cuales fueron trasplantadas en contenedores de polietileno negro, con un volumen de 5L. Llenados con un sustrato a base de lombricomposta, perlita y suelo. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con un arreglo factorial 3*3, con comparación de medias empleando la prueba Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Las variables evaluadas fueron; diámetro polar y diámetro ecuatorial, SST (°Brix), pH, vitamina C, licopeno y acides titulable. En general hay un aumento en el fruto de la cantidad de °Brix, vitamina "C", licopeno así como mejoras en el pH y acides titulable, en comparación con aquellos frutos sin inocular

Palabras clave: Agricultura ecológica, inoculación, biofertilizantes, simbiosis, propiedades nutraceuticas, antioxidantes.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ello su cultivo, producción y comercio. Es cultivado en muchas zonas, con amplia variabilidad de condiciones de clima y suelo, aunque se cultiva principalmente en climas secos, tanto para producción en estado fresco como para uso agroindustrial. La producción global de tomates para consumo en fresco y procesado se estima en 108 millones de toneladas métricas, con un rendimiento promedio de 36 ton / ha⁻¹. (Escalona *et al.*, 2009). En México en el 2008 se produjeron 2.26 millones de toneladas de jitomate, el principal productor es el Estado de Sinaloa, cuya producción representa el 35% del total a nivel nacional, en segundo lugar Baja California con 9%, siguiendo los estados de Michoacán, San Luis Potosí y Jalisco (8%, 6% y 5%, respectivamente) (SIAP, 2008).

En este contexto la mayor producción de tomate es producida en base a una fertilización convencional, por lo tanto es importante buscar alternativas viables y no agresivas con el medio ambiente como puede ser la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). La utilización de estos microorganismos resulta factible para cualquier sistema de producción agrícola debido a las funciones que realizan una vez asociadas con las plantas, entre ellas encontramos: incremento en la absorción de nutrientes minerales y agua a partir de un aumento en el volumen de la exploración de suelo, mayor resistencia a las toxinas, incremento de la translocación y solubilización de elementos esenciales, protección contra patógenos radicales y aumento de la tolerancia ante condiciones abióticas adversas (sequía, salinidad, etc.). (Smith y Read, 2008; Carpio *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2013). Los HMA, son asociaciones de hongos con las raíces de la mayoría de las plantas con carácter simbiótico (Serralde y Ramírez, 2002). Durante el establecimiento de esta simbiosis se producen alteraciones citológicas y metabólicas en las células hospederas, por medio de señales que intercambian entre la planta y el hongo (Salzer&Boller, 2000), en general se sintetizan compuestos fenólicos, cuya síntesis y acumulación es parte de la estrategia desarrollada por las plantas para evitar la infección de patógenos (Espinosa-Victoria, 2000). En tomate de

invernadero, en diferentes estudios enfatizan las ventajas que tiene la inoculación micorrízica pues incrementa la nutrición mineral, el tamaño de fruto y rendimiento (Al-Karaki, 2006; Desgan *et al.*, 2008; Oseni *et al.*, 2010). Por otro lado, la utilización de lombricomposta, un producto de origen orgánico, se obtienen muchas ventajas, tanto para el suelo como para las plantas, ya que muchos nutrientes son cambiados a su forma más simple, lo que facilita su absorción por la planta (Chanda *et al.*, 2011). La lombricomposta satisface la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos (Rodríguez *et al.*, 2009), como el incremento en el crecimiento de los cultivos. Además de la fertilidad, el ajuste del pH, las propiedades físicas del sustrato, la actividad microbiana y/o los componentes de la materia orgánica (McGinnis *et al.*, 2004). Por lo tanto esta investigación tuvo como objetivo principal determinar parámetros de calidad en frutos de tomate inoculadas con consorcios de micorrizas nativas así como comerciales combinadas con lombricomposta.

OBJETIVO

Determinar parámetros de calidad en frutos de tomate inoculados con consorcios de micorrizas nativas y comerciales con lombricomposta.

HIPÓTESIS

El consorcio de micorrizas nativas o comerciales combinadas con lombricomposta mejora la calidad de los frutos de tomate.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del tomate

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) a nivel mundial es la segunda hortaliza de mayor importancia después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Se cultiva en diversos países, no obstante, en 2008 más del 70% de la producción se concentró en cuatro países: China (36%), Estados Unidos (14%), Turquía (12%) e India 11% (SAGARPA, 2010). A escala mundial existen casi cuatro millones de hectáreas de superficie sembradas con el cultivo, lo que representa una producción de 105.7 millones de ton (FAO, 2010). En 2008, México ocupó el doceavo lugar como país productor con un 3% de la producción mundial, y el segundo lugar como exportador con un 18% (SAGARPA, 2010). Asimismo, el tomate es la segunda hortaliza más importante después del chile (*Capsicum annum* L.). Siendo Sinaloa el estado que se ha consolidado como el primer productor de tomate en México, cultivándose principalmente en los valles de Ahome, Culiacán y Guasave. En el Estado se siembran aproximadamente 18,623.05 ha, con una producción de 1,039,367.64 ton. Con un valor de poco más de 3 billones de pesos, significando una muy importante fuente de empleos y divisas para esta zona (SIAP, 2013). Desde el punto de vista económico, el tomate es una de las especies hortícolas más importantes en nuestro país debido al valor de su producción y a la demanda de mano de obra que genera; además, es el principal producto hortícola de exportación (Ortega, 2010).

La importancia de la planta radica en que posee cualidades muy esenciales para adecuarse a la dieta alimenticia, para su consumo en fresco o procesado, representa una rica fuente de sales minerales y de vitaminas A y C principalmente, además de utilizarse en la industria cosmética, farmacéutica y ornamental. La planta es potencialmente perenne pero muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual de distinta duración según la variedad (Rodríguez *et al.*, 2001).

Se desarrolla bien en un amplio rango de latitudes, tipos de suelos, temperaturas, métodos de cultivo y es moderadamente tolerante a la salinidad (Chamarro, 2001). Uno de los principales problemas que enfrenta la producción de tomate en nuestro país es el excesivo uso de agroquímicos, incrementando los costos de producción por el uso de las mismas.

2.2. Origen y domesticación

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. En la actualidad todavía crecen silvestres las diversas especies del género en algunas de las zonas de la región antes mencionada (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). La planta fue llevada por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente (Rodríguez *et al.*, 2001).

El centro de domesticación del tomate ha sido controvertido; sin embargo, se cree que el origen de su domesticación es México, porque existe mayor similitud entre los cultivares europeos y los silvestres de México que con los de la zona andina. A la llegada de los españoles a América el tomate estaba integrado a la cultura azteca. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua náhuatl de México donde se le llamaba "tomatl" (Esquinas y Nuez, 2001; Rodríguez *et al.*, 2001). A partir de 1900, se extendió el cultivo como alimento humano.

2.3. Generalidades del cultivo

2.3.1. Descripción taxonómica del tomate

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Lycopersicon*

Especie: *Esculentum*

Nombre binomial: *Lycopersicon esculentum*

Descriptor: Miller (1788)

2.4. Descripción botánica

2.4.1. Raíz

La planta presenta una raíz principal pivotante (que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad), simultáneamente se producen raíces adventicias y ramificaciones que pueden llegar a formar una masa densa y de cierto volumen. Sin embargo, este sistema radicular puede ser modificado por las prácticas culturales, de tal forma que cuando la planta procede de un trasplante, la raíz pivotante desaparece siendo mucho más importante el desarrollo horizontal (Rodríguez *et al.*, 2001), donde las raíces laterales y adventicias crecen tanto como la principal (Curtís, 1996).

El sistema radicular puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad, y se estima que un 75% del mismo se encuentra entre los primeros 45 cm de profundidad del suelo (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.4.2. Tallo

El tallo es erguido y cilíndrico en plantas jóvenes, a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso. Presenta tricomas (vellosidades) en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia color verde aromática. El tallo puede llegar a medir de 40-250 cm. Muestra ramificación abundante y yemas axilares, si al final del crecimiento todas las ramificaciones exhiben yemas reproductivas, estas se clasifican como de crecimiento determinado; y si terminan con yemas vegetativas, son de crecimiento indeterminado (Rodríguez *et al.*, 2001; Valadez, 1990). Cuando la ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en consecuencia el crecimiento vertical, en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma también una nueva rama dando origen a un crecimiento ilimitado (Garza, 2002).

2.4.3. Hojas

Las hojas son cortas, de tamaño medio o largas y tipo patata (George, 1999). Son compuestas, se insertan sobre los diversos nudos en forma alterna. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once foliolos. El haz es de color verde y el envés de color grisáceo, su tamaño depende de las características genéticas de la variedad. En tomates más rústicos el tamaño de sus hojas es más pequeño (Huerres y Caraballo, 1988). La disposición de nervaduras en los foliolos es penninervia (Rodríguez *et al.*, 2001; Garza, 2002).

2.4.4. Flor

La flor se presenta formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por racimo. Se precisan de 56-76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales (Rodríguez *et al.*, 2001). Cuando las inflorescencias se producen alternando con cada hoja o dos hojas se dice que la planta es de crecimiento determinado, si la alternancia es más espaciada la planta se dice de crecimiento indeterminado. La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, es decir, con los sépalos soldados entre sí, y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de 2-30 carpelos que al desarrollarse darán origen a los lóculos o celdas del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001). Las flores son hermafroditas, hipóginas y regulares (Wien, 1997). El cáliz está compuesto de seis sépalos y la corola de seis pétalos amarillos. Los estambres, en un número de seis, se reúnen formando un tubo alrededor del gineceo. La dehiscencia se produce por la mañana generalmente, el estigma es receptivo a su propio polen o a otro; la receptividad que comienza dos horas antes de la dehiscencia y se prolonga de 4 a 8 h. El estilo es más corto o tan largo como los estambres; posición que favorece considerablemente la autopolinización. El alargamiento del estilo se acentúa en clima tropical debido a las temperaturas elevadas, de tal forma que en esas condiciones, se puede observar una polinización cruzada natural (Curtis, 1996).

2.4.5. Fruto

El fruto es una baya de color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno; el más común es el rojo en la madurez, la pulpa contiene una proporción del 33% del peso fresco del fruto (Rodríguez *et al.*, 2001).

El fruto del tomate está unido al pedúnculo a través de una articulación en la que se encuentra un punto de abscisión; algunas variedades no tienen este punto de abscisión, por lo que son definidas como variedades tipo '*jointless*'. Dichas variedades se usan principalmente para procesamiento, ya que se requiere que el fruto se separe fácilmente del cáliz. El tamaño y la calidad del fruto, el número de semillas, su posición en el racimo, la posición del racimo en la planta y las prácticas culturales realizadas en el cultivo (podas, fertilización, etc.) están genéticamente condicionados por la variedad. (Zeidan, 2005).

2.4.6. Semilla

La semilla es de diferentes tonalidades en su color, desde el grisáceo, hasta el color paja de forma oval aplastada; tamaño entre 3-5 mm de diámetro y 2.5 mm de longitud y cubierta de vellosidades. En un gramo puede haber de 300-350 semillas (Rodríguez *et al.*, 2001). El peso de 1000 semillas es de aproximadamente 2.4 g (Desai *et al.*, 1997). En producciones bajo invernadero, 1 kg de fruto produce aproximadamente 4 g de semilla (1200 semillas aproximadamente). En campos de producción la regla es: el 1% del peso del fruto es el peso de semilla. En Estados Unidos para cultivares del tipo determinado, el rendimiento es de 250-400 Kg·ha⁻¹ de semilla. En África se reportan rendimientos de 10 a 50 Kg·ha⁻¹. El peso de mil semillas producida en condiciones de invernadero es de 3.3 g en cultivares de tipo determinado y en campo abierto es de 2.5 g (George, 1999).

2.5. Fenología del cultivo

La fase de desarrollo vegetativo de la planta comprende cuatro subetapas que se inician desde la siembra en semillero, seguida de la germinación; posteriormente la formación de tres a cuatro hojas verdaderas y finalmente el

trasplante a campo, con una duración aproximada de 30 a 35 días del trasplante hasta la aparición de la primera inflorescencia. Una vez que florece la planta se inicia la fase reproductiva, que incluye la etapa de floración que inicia a los 25-30 días después del trasplante. La formación del fruto y llenado y la madurez de la misma, es aproximadamente entre los 85 a 100 días después del trasplante. La etapa reproductiva tiene una duración cercana a los 180 días. El ciclo total del cultivo es aproximadamente siete meses cuando el cultivo se lleva a diez racimos.

- Fase juvenil: desde la semilla hasta las primeras hojas y flores (semillero a trasplante).
- Fase vegetativa: desde las 6 a 8 hojas hasta el inicio de la floración (periodos críticos: iniciación y crecimiento del primer racimo).
- Fase de floración a pre recolección del primer racimo:
 - Aumenta la carga de frutos continuamente.
 - El tallo se prolonga cada tres hojas.
 - Cuajado y llenado de frutos.
 - La maduración del primer racimo coincide con la floración del 7-10 racimo.
- Fase maduración y recolección de frutos: se presenta carga máxima de frutos en la planta, un equilibrio frutos/vegetación y un ritmo regular de desarrollo de racimos y hojas.
- Fase posterior a recolección del segundo racimo: floración 9-12 racimo (cultivares indeterminados). Se presenta un ritmo regular de desarrollo de racimos. (Martínez P. F., 2001).

2.6. Requerimientos Edafoclimáticos

2.6.1. Temperatura

La temperatura es el principal factor climático que influye en la mayoría de los estados de desarrollo y procesos fisiológicos de la planta. El desarrollo satisfactorio de sus diferentes fases (germinación, crecimiento vegetativo,

floración, fructificación y maduración de frutos) depende del valor térmico que la planta alcanza en el invernadero en cada periodo crítico.

Cuando la temperatura es mayor de 25°C y menor de 12°C la fecundación no se da o es muy baja, ya que disminuye la cantidad y calidad del polen mismo produce caída de las flores y deformación de frutos (Martínez, 2001).

La temperatura menor de 12°C, se producen ramificaciones en las inflorescencias. El fruto se puede amarillear si se presentan temperaturas mayores de 30°C y menores de 10°C. En general, la diferencia de temperatura entre el día y la noche no debe ser mayor de 10-12°C (Martínez, 2001).

Cuadro 1: Temperaturas y efectos producidos en el tomate.

Temperatura	Efecto que produce en la planta
Mínima 8 - 12°C	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita, y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel la planta sufre una progresiva decadencia o muerte.
Óptima 21 - 27°C	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, floración y fructificación son adecuados.
Máxima 32 - 36°C	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desordenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre muerte de la planta.

Fuente: Martínez, 2001; Zeidan, 2005

2.6.2. Luz y fotoperiodo

La planta de tomate se desarrolla mejor con alta intensidad luminosa, cuando ésta es baja, se afecta la apertura de los estomas y disminuye el número de éstos por milímetro cuadrado. Investigaciones realizadas con cuatro variedades de tomate en condiciones controladas aplicando 6,000 lux durante 12 h y 3,000-6,000 lux durante 9 h con temperatura nocturna de 14°C y 18°C de día, mostraron una mayor actividad fotosintética en el rango de 3,000-6,000 lux y tuvieron el mayor crecimiento. Cuando se compararon las plantas expuestas a 6,000 lux y 8,000 lux, la actividad fotosintética disminuye (Huerres y Caraballo, 1988). Al respecto, Guenkov (1966), menciona que el tomate es exigente en

cuanto a la luz, necesita 5,000 lux para que se formen bien los frutos y se adelanta la maduración.

La luminosidad tiene gran influencia tanto en la fotosíntesis como en el fotoperiodo, así como en el crecimiento de los tejidos, floración y maduración de los frutos; en virtud de que el rendimiento de fruto esta positivamente relacionado con la cantidad de radiación solar recibida por el cultivo y el ciclo del mismo (Wien, 1997; Rodríguez *et al.*, 2001).

El desarrollo normal de las plantas tomate se lleva a cabo entre 11-12 h, los días largos favorece a las plantas a una fructificación precoz. Algunos autores plantean que el tomate es una planta de día corto, pero, la mayoría considera que es indiferente al fotoperiodo en lo que concierne a su floración, la longitud del día tiene bastante importancia en su crecimiento vegetativo. En Sinaloa, durante la temporada de cultivo, en los meses de octubre a diciembre los días son aproximadamente de 12 h luz, lo cual favorece un educado crecimiento y desarrollo de la planta. Lo cierto es que las condiciones de duración del día son imperantes: por ejemplo en Cuba (10, 5-13, 5) no ha constituido un obstáculo para la floración y fructificación (Huerres y Caraballo, 1988; Maroto, 2002).

2.6.3. Humedad del suelo y humedad relativa

La exigencia del tomate en cuanto a la humedad del suelo es media, pero influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50% y suelos no encharcados (Rodríguez *et al.*, 2001). Los periodos críticos de humedad en las plantas de crecimiento determinado son: después del trasplante, poco consumo de agua; en floración e inicio de fructificación, gran demanda de agua; en la etapa de maduración de fruto, poco consumo de agua (Huerres y Caraballo, 1988). La disponibilidad de agua, también puede afectar la formación de flores y posteriormente la disminución de frutos. La media del número de flores por racimo, decrece cuando disminuye el suministro de agua (Wien, 1997). Al reducirse el 25% de la disponibilidad de agua que el cultivo demanda por evapotranspiración, se llega a disminuir un 40% hasta 90% el número de flores formadas dependiendo

del cultivar, y se produce un estrés severo causando efectos negativos (Wien, 1997). Al respecto Resh (1993), menciona que se ha demostrado que una humedad relativa del 70% es la mejor para la polinización, “cuajado” de fruto y posterior desarrollo de éste. Humedad del ambiente mayor de 70% disminuye la posibilidad de que se transfiera suficiente polen al estigma. Por otro lado, humedad relativa demasiado seco (inferiores al 60 – 65%) causa la desecación del polen.

2.7. Particularidades del cultivo de tomate

2.7.1. Distancias de Siembra

La densidad de plantación en invernadero tiene una importancia especial porque no solamente determina el potencial productivo de las plantas sino también la sanidad del cultivo. Si trasplantamos menos plantas por una determinada área, cada planta puede cargar más frutos, porque es más vigorosa y hay compensación del espacio. En una plantación densa, las plantas son más débiles, con tallos delgados y cada planta cargara menos frutos, además, los frutos serán pequeños y no llegaran a la calidad esperada (Shany, 2007).

La distancia entre surcos más adecuada es aquella que permita una propicia ejecución de las labores y que evite el exceso de humedad alrededor de las plantas. Para aquellas zonas donde se genera una alta humedad relativa no es recomendable la siembra a doble hilera, ya que se generan las condiciones apropiadas para la incidencia de enfermedades. La siembra del tomate puede realizarse en hilera sencilla o doble. La siembra en hilera sencilla se realiza con una distancia entre surcos de 1,10 a 1,30 m y una distancia entre plantas de 30 a 40 cm, lo que da una densidad de 1,9 a 3 plantas por m² con podas a un solo tallo, En la siembra del tomate a doble hilera se planta a una distancia de 50-60 cm y entre hilera de 50-60 cm entre plantas. La distancia entre centros de cama puede variar de 1,40 a 1,60 m, con espacio entre cama de 0,8 a 1,0 m de ancho. (Jaramillo *et al.*, 2007).

2.7.2. Trasplante

Consiste en hacer germinar la semilla en pequeñas áreas conocidas como semilleros o almácigos, de donde se obtendrán las plántulas para ser llevadas al lugar de establecimiento definitivo, donde habrán de crecer las plantas hasta la cosecha. Aunque inicialmente las plántulas muestran cierto marchitamiento y retraso en el crecimiento, estos síntomas son rápidamente superados, mostrando el cultivo un desarrollo normal.

Comparando el sistema de siembra directa con el sistema de trasplante, se puede decir que la siembra directa resulta en una disminución del ciclo de cultivo. La producción en volumen puede ser mayor en un 20% y existe también un ahorro en mano de obra. Por otro lado el método de semilleros y trasplante requiere menos insumos pero más mano de obra. Mediante el trasplante se ocupa el terreno durante más tiempo, lo cual puede ser ventajoso para el cultivo anterior o para el total del plan de producción (Von Haeff, 1983; Nuez *et al.*, 1995).

2.7.3. Poda

La poda se realiza con el fin de potencializar las partes de la planta que tienen que ver con la producción y eliminar aquellas que no tienen repercusión en la cosecha, de esta forma, se concentra energía y se logra frutos de mayor calibre, sanos, vigorosos, precoces y firmes. La poda tiene por objeto balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos, además indirectamente ayudan a mejorar la aireación del cultivo; a su vez, la poda y tutorado se hacen en función del tipo de cultivar, diseño de plantación y ciclo productivo.

En general, se recomienda no defoliar antes del inicio de maduración del primer racimo y hasta el inicio de floración del séptimo racimo; no defoliar por encima de un racimo en maduración. Una defoliación intensa y precoz retarda y reduce la producción (Martínez, 2001). Así mismo, la poda debe hacerse en horas de la mañana, cuando el cultivo aún se encuentra turgente (Shany, 2007).

Según Martínez (2001), las principales ventajas de las podas son:

- Reducir la competencia entre órganos en crecimiento.
- Mejorar la ocupación del volumen aéreo.
- Facilitar la aireación de la planta.
- Mejorar la penetración de la luz.
- Facilitar la recolección.
- Facilitar el control de plagas y malezas.
- Equilibrar la nutrición en la planta.

2.7.4. Riego

El riego en invernadero tiene que ser preciso y localizado. Por su alta inversión en la construcción, el alto valor del cultivo y los requisitos de calidad de los frutos, por lo tanto deben descartarse los sistemas de riego foliares y por surcos, pues provocan enfermedades y carecen de precisión.

El riego localizado se refiere al riego por goteo, un sistema donde el agua se aplica gota a gota sin necesidad de mojar toda la superficie del suelo y donde cada planta recibe en forma precisa la cantidad de agua y fertilizantes que requiere (Fuentes 1991; Shany 2007).

2.7.4.1. Requerimientos de agua del cultivo

El primer riego debe realizarse inmediatamente después de que se trasplantan las plántulas y luego es conveniente realizar riegos periódicos para mantener un adecuado nivel de humedad durante todo el ciclo de desarrollo de la planta. Los riegos no se deben efectuar en las horas de la tarde, porque la evaporación del agua aumenta, la humedad relativa alta dentro del invernadero en las horas de la noche y madrugada conlleva a problemas de enfermedades en las plantas, siendo ideal regar el cultivo en horas de la mañana (Medina *et al.*, 2001; Shany, 2007). Durante todo el ciclo del cultivo principalmente antes de la formación de frutos el riego debe ser en periodos cortos pero frecuentes, buscando así mantenerla humedad del suelo cuando la planta inicia el cuajado de frutos (Medina *et al.*, 2001; Zeidan, 2005).

La mayor necesidad de agua por parte del cultivo ocurre cuando se realiza el trasplante y al estar en periodo de floración, continuando hasta el llenado de los últimos racimos. La literatura menciona que una planta de tomate consume diariamente de 1 a 1,5 litros de agua, dependiendo de la variedad y del estado de desarrollo de la planta, por lo que nunca se debe dejar que el suelo se seque demasiado y luego, repentinamente, aplicar grandes cantidades de agua, pues esto ocasiona daños en las plantas, como por ejemplo, el agrietamiento en los frutos.

2.8. Nutrición

La práctica de fertilización tiene como objetivo aportar los nutrientes esenciales a los cultivos cuando el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandados por las plantas. El tomate prospera en diferentes tipos de suelo, siendo los más indicados los suelos sueltos, fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno, que a su vez tengan capacidad de retener humedad, que sean de texturas franco a franco arcillosas, con contenidos de materia orgánica altos (por encima del 5%) y una buena cantidad de nutrientes. El análisis de suelos es una herramienta que se utiliza como referencia para el manejo de la fertilidad de los mismos, la muestra se toma con dos a tres meses de anticipación a la siembra (Muñoz, 1996; Jaramillo *et al.*, 2007).

Dependiendo de la variedad de tomate a sembrar y del tipo de manejo, así serán las demandas nutricionales; sin embargo, en forma general, los requerimientos nutricionales del cultivo en Kg/ha-1, son:

Nitrógeno Fósforo Potasio Calcio Magnesio Azufre

Cuadro 2: Requerimientos nutricionales del cultivo del tomate (Kg/ha-1)

		Elemento				
Cantidad	N	P	K	Ca	Mg	S
	150	200	275	150	25	22

Fuente: Juana Pérez., *et al* 2006.

Orden de extracción de nutrientes por la planta de tomate en forma decreciente es: K, N, Ca, S, Mg y P. (Juana Pérez., *et al* 2006).

2.9. pH

El pH del suelo debe oscilar entre 5,8 a 6,8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes. Además, el terreno debe ser uniforme y estar libre de piedras y malas hierbas (Jaramillo y Lobo, 1983; Barreto, 2002).

2.10. Biofertilizantes

Los biofertilizantes son microorganismos aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir la fertilización sintética, y por consiguiente una disminución en la contaminación por agroquímicos (Armenta et al., 2010). Por su parte Pajarito-Ravelero (2012) lo define como productos que contienen microorganismos que se aplican a la semilla o suelo y se asocian con la raíz de la planta favoreciendo el desarrollo de la misma. En México, esta promisorio tecnología ha permitido desarrollar la fabricación de biofertilizantes por empresas privadas, instituciones de investigación e instituciones gubernamentales en algunas entidades, ya que aparte de dar más viabilidad a la producción de granos, es una práctica no contaminante (Terry, 2006). El INIFAP ha producido el último año más de un millón de dosis de biofertilizantes para su aplicación en igual número de hectáreas; y tiene la meta de llegar a producir 2 millones anuales de dosis antes del año 2012 (INIFAP-SAGARPA, 2011).

Desde el punto de vista ecológico, la utilización y/o aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes, una de las posibles alternativas propuestas contra tal situación es la biofertilización con microorganismos del suelo. En adición, se mantiene la capacidad productiva del sistema, se preserva la biodiversidad y se contribuye con una producción más estable y sostenida, a largo plazo, en equilibrio con el entorno (Hernández, 2000). Unido a la obtención de nuevas líneas adaptadas a condiciones no idóneas para el cultivo, se aplican exitosamente biofertilizantes de producción nacional en la explotación hortícola (Gómez *et al.*, 2010), destacándose la simbiosis que se establece entre las plantas y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en diferentes ecosistemas agrícolas y naturales (Smith y Read 2008). La utilización de estos microorganismos resulta factible para cualquier sistema de producción agrícola debido a las funciones que realizan una vez que se

asocian con las plantas; entre ellas encontramos: incremento en la absorción de nutrientes minerales y agua a partir de un aumento en el volumen de suelo explorado, mayor resistencia a las toxinas, incremento de la translocación y solubilización de elementos esenciales, protección contra patógenos radicales y aumento de la tolerancia ante condiciones abióticas adversas (sequía, salinidad, etc.) (Smith y Read 2008).

Atendiendo a los criterios anteriormente expuestos, en la década de los 90, el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) inició un amplio programa de investigaciones básicas con estos simbiontes y como resultado se obtuvo un biofertilizante de formulación sólida registrado como EcoMic®, con alto grado de pureza y estabilidad biológica, con el cual se ejecutaron estudios que mostraron resultados satisfactorios en raíces tubérculos y trigo (Plana *et al.*, 2008). Tomando como punto de partida la efectividad mostrada por este inoculante sólido, a partir del año 2000 se inician nuevos estudios, pero esta vez con el propósito de formular un nuevo producto a partir de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en soporte líquido, con la finalidad de diversificar las vías de inoculación de estos simbiontes garantizando aplicaciones por la vía de fertirriego y además permite reutilizar la arcilla empleada en el proceso de reproducción de los propágulos. Recientemente se han encontrado resultados prometedores con la utilización de los HMA en formulación líquida para el cultivo del tomate (Mujica y Medina 2008). Ante estrés abiótico (sequía, altas temperaturas y salinidad) se plantea que los HMA tienen un efecto sobre las relaciones hídricas de la planta, modificando la conductividad estomática, tasa fotosintética y transpiración, mientras que en el suelo, los exudados fúngicos promueven la cohesión entre sus partículas e incrementan la retención de agua (Adesemoye y Kloepper 2009).

2.10.1 Beneficios de los biofertilizantes

- Aumento de la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes del suelo.
- Reducción de los requerimientos de irrigación y fertilización en los cultivos.

- Aumento del crecimiento y establecimiento de las plántulas.
- Aumento del vigor de las plántulas y plantas adultas.
- Biocontrol de fitopatógenos.
- Reducción de los tiempos de cosecha en algunos casos entre 7 y 9 días, (Dibut y Martínez, 2004) y extensión de los tiempos de producción.
- Incremento del rendimiento de los cultivos, tanto en campo como en invernadero.
- Aumento de la calidad de los frutos.
- Compatibilidad con la producción orgánica de los cultivos agrícolas.
- Reducción de la contaminación ambiental a través de la disminución del uso de pesticidas y fertilizantes químicos (Kennedy, 2001).

La ventaja de utilizarlos es que llegan a aportar 20% del nitrógeno que requieren los cereales y hasta 70% de las necesidades en leguminosas; además, permiten que disminuya el uso de los fertilizantes minerales entre 20 y 40%, son de bajo costo y de fácil aplicación. Está demostrado que propician altos rendimientos en los cultivos cuando se combinan algunas cantidades de otros fertilizantes, abonos orgánicos y abonos verdes (Fernández et al., 2006).

2.11. Micorrizas

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos rizosféricos, cosmopolitas encontrados en la mayoría de las plantas terrestres, capaces de colonizar el sistema radical y establecer una asociación mutualista o simbiosis con las plantas (Smith y Read, 2008), las micorrizas, son asociaciones entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas, siendo consideradas como la simbiosis de la naturaleza más antigua y sorprendente. Esta asociación coloniza biotróficamente la corteza de la raíz, sin causar daño a la planta. A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo simbionte (heterótrofo), compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, y un hábitat ecológico protegido. (Guerrero 1986).

2.11.1. Principales tipos de micorrizas

Diferentes taxónomos declaran que existen varios tipos o grupos de micorrizas, en el año 1969, Peyronel y colaboradores definieron los tres tipos de asociaciones micorrízicas de mayor importancia y que son vigentes hasta nuestros días, tomando en consideración sus características morfo anatómicas y ultra estructurales y se clasifican en: *Endomicorrizas*; *Ectomicorrizas* y *Ectoendomicorrizas* (Paucar 2008).

2.11.2. Micorrizas endótrofas, vesículo- arbuscular o Endomicorrizas (VAM).

Las endomicorrizas son asociaciones de micorrizas arbusculares (previamente conocidas como vesículo-arbusculares o VAM) son formadas únicamente por hongos pertenecientes al *Phylum* Glomeromycota (Peterson *et al.*, 2004). Las hifas de las micorrizas arbusculares penetran en las células de las raíces produciendo estructuras ovales (vesículas) o invaginaciones conocidas como arbuscúlos que se ramifican dicotómicamente dentro de la célula para aumentar la superficie de interacción del hongo con la planta hospedera.

Debido a que colonizan casi 80% de las plantas terrestres y se encuentran en casi todos los ecosistemas del mundo, las micorrizas arbusculares constituyen el grupo de hongos simbióticos más importante desde un punto de vista agrícola y ecológico. Actualmente son el grupo de hongos más empleado en la formulación de biofertilizantes y son fuentes para el biocontrol de fitopatógenos a través de sus capacidades competitivas por los espacios disponibles en las raíces. El funcionamiento de estos hongos se ve afectado en suelos con altos contenidos de fósforo (Linderman y Davis 2004).

2.11.3. Ectomicorrizas o micorrizas ectótrofas.

La característica de las ectomicorrizas (EM) es la presencia de hifas entre las células corticales de la raíz produciendo una estructura reticular llamada red de Harting. La capa puede variar extensamente en espesor, color y textura dependiendo de la combinación determinada entre la planta y el hongo.

Estas asociaciones simbióticas típicamente se forman entre las raíces de plantas leñosas y hongos pertenecientes a los Phylum Basidiomycota, Ascomycota y Zygomycota. Se encuentran en árboles de hoja ancha como el roble la haya y en coníferas como el pino, abeto y el arce. La penetración de las hifas se da entre las células corticales y no dentro de estas, esto da lugar al termino ectótrofos que significa “que se alimenta del exterior” (Herrera, 2008). Esto es importante porque se forma una extensa red de micelio dentro del suelo y material vegetal en descomposición que ayuda a estabilizar el suelo y ampliar el acceso de las plantas a fuentes de agua y nutrientes que de otra manera serían inaccesibles para las plantas. (Shishido *et al.*, 1999; Elo *et al.*, 2000).

2.11.4. Las Ectoendomicorrizas o Micorrizas Ectoendotróficas.

Constituyen una estructura intermedia: pequeño grupo de plantas y micelios. Es un grupo menos numeroso, sus funciones son similares al grupo de Ectomicorrizas, aunque también desarrollan funciones similares a algunas Endomicorrizas Paucar (2008). La mayoría de las plantas arbóreas y herbáceas poseen este tipo de asociación, al igual que la mayoría de las plantas cultivadas (aproximadamente el 80%).

2.11.5. Importancia de los (HMA)

En el medio natural, la micorriza es una interacción entre la raíz de una planta y una especie de hongo, es una comunidad muy compleja formada por diferentes especies de hongos y la raíz de una planta. Esta asociación se define como un continuo "mutualismo-parasitismo" es decir, se analiza desde una perspectiva de "costo-beneficio", correlacionado con el estado de desarrollo, tanto de la planta como de los hongos involucrados, y con las condiciones ambientales y edáficas, así como con factores de reconocimiento genético mutuo (Johnson *et al.*, 1997). Actualmente, se considera que los hongos micorrizógenos (HM) fueron cruciales para que las plantas pudieran colonizar el medio terrestre y responde adecuadamente a las condiciones ambientales cambiantes (Smith y Read, 1998). La micorriza, funciona como órgano de absorción y translocación,

es una de las más sobresalientes adaptaciones de la raíz para desenvolverse adecuadamente en el ambiente edáfico (Guerrero 1986). En la agricultura, se utiliza como biofertilizante, es decir, como insumos biológicos que favorecen el desarrollo de los cultivos hortícolas y plantaciones, sin los problemas de contaminación, como lo es en el caso de los productos químicos. Las micorrizas se utilizan en el sistema de producción vegetal para hacer más eficiente el fósforo del suelo y de los fertilizantes fosfóricos, optimiza la productividad de los suelos y cultivos con bajos niveles de insumos, hacen posible y rentable la producción vegetal en condiciones adversas, ayudan a establecer cultivos en suelos erosionados o degradados, y forman agregados en el suelo para mejorar su estructura y porosidad (Guerrero 2005).

El efecto más importante que producen las micorrizas en las plantas es un incremento en la absorción de nutrientes minerales del suelo, traducido en un mayor crecimiento y desarrollo de las mismas generan una ampliación de la zona radicular de la planta, con la que extraen nutrientes lateralmente, hay también captación de elementos de lenta difusión en el suelo como fosfatos solubles y los iones de zinc y cobre, que son absorbidos por las hifas y transportados hasta el hospedero (Hernández, 2010). Otra de las funciones de la micorriza es facilitarle a la planta la adquisición y absorción de agua; también proporciona a las plantas protección ante el ataque de parásitos, hongos patógenos y nemátodos, aumentando su resistencia al herbivorismo, influyendo en la producción de sustancias defensivas por parte de la misma planta, limita la absorción de metales pesados tóxicos como el zinc y el cadmio que son alojados en sus hifas, aumentan el área de exploración de la raíz, lo que incrementa el flujo de agua del suelo a la planta (Camargo-Ricalde, 1999; 2001; 2002); además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el enriquecimiento de materia orgánica y la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína exudada por el micelio llamado glomalina, que contribuye a darle estructura y estabilidad al suelo, lo que reduce su erosión y mejora su capacidad de retención de agua (Guadarrama et al.,2004; Finlay, 2008).

2.11.6. Usos de las micorrizas

La labranza y todas aquellas actividades que manipulen los primeros centímetros del suelo cultivable, producen la ruptura y disgregación del micelio externo de los HMA debido a que este micelio contribuye sustancialmente a la formación de la estructura del suelo, su destrucción trae consecuencias indeseables para la infiltración y demás propiedades físicas del suelo (Miller y Jastrow, 2000). La aplicación de fungicidas y de plaguicidas con fines fitosanitarios tiene efectos en los HMA, (Sieverding, 1991). Por lo tanto el uso de estos microorganismos edáficos en la agricultura constituye una alternativa promisorio frente a los fertilizantes minerales. Desde el punto de vista ecológico, la utilización y/o aplicación correcta de estos microorganismos permite reducir el uso de energía, la degradación del agroecosistema y las pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas (Hernández, 2000).

El uso de los HMA es una de las técnicas empleadas por el hombre para obtener elevados rendimientos en los cultivos, sin causarle daños al ambiente. Se plantea que es una tecnología importante para solubilizar fosforo inorgánico y nitrógeno, los cuales producen efectos aditivos de particular importancia en la productividad de los cultivos y en su mejor calidad fitosanitaria, además de aumentar el contenido de materia orgánica del suelo (<http://www.produccion.com.ar>, 2004).

2.11.7. Beneficios de las micorrizas para las plantas

El principal beneficio que realizan las Micorrizas está relacionado con la nutrición de las plantas (Páez *et al.*, 2006). Este proceso de la nutrición por medio de las micorrizas está, pues, extremadamente difundido entre los vegetales, tiene notable importancia porque permite la vida de las plantas en determinadas condiciones y facilita la toma de los alimentos por parte de las plantas superiores, en competencia con la infinita y mucho más adaptable microflora del suelo.

Son muchos los beneficios que nos brindan las micorrizas para las plantas, que las convierten fieles aliadas de productores, empresarios, investigadores, científicos y población en general. A continuación tratamos de resumir las más importantes:

- Una mejor asimilación de los nutrientes en las plantas.
- Una mayor tolerancia de las plantas frente a muchos factores climáticos.
- Al estar mejor nutridas las plantas, promueve en éstas mayor resistencia frente a organismos patógenos, mejorando la salud sin aplicación de agrotóxicos.
- Provoca un incremento en la de absorción y translocación de nutrientes como: P, N, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mo, Fe, Mn, entre otros.
- Se logra mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes fosfóricos aplicados en suelos deficientes y con elevada capacidad de fijación de fosfatos, predominantes en las zonas tropicales.
- Además del efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, el favorecimiento en la absorción del P aumenta el crecimiento de las raíces y la fijación biológica de N en plantas, el cual es deficiente en la mayoría de los suelos tropicales.
- Una mayor resistencia de las plantas a las toxinas.
- En suelos afectados por los efectos negativos de los metales pesados, se ha comprobado que las plantas micorrizadas poseen mayor resistencia, gracias a la capacidad que obtiene para inmovilizarlos metales en la raíz, impidiendo que éstos pasen a la parte aérea de la planta.

2.11.8. Benéfico de las micorrizas para el suelo

Según (Bernaza y Acosta, 2006), los efectos benéficos de las Micorrizas en el suelo están muy relacionados con sus efectos sobre las plantas por estar éstos (suelo-planta), estrechamente relacionados. Sin embargo, podemos declarar que las micorrizas realizan varias funciones en el suelo que incrementan mucho su potencial agro productivo y sus posibilidades de sostén y

mantenimiento de las diferentes especies vegetales. A modo de resumen declaramos los siguientes efectos:

- Las micorrizas prolongan el sistema radical de las plantas y ello facilita una mayor retención física de partículas del suelo, limitando los efectos dañinos de la erosión causada por el agua.
- Las micorrizas son regeneradoras de suelos degradados, ya que al facilitar el mejoramiento de la estructura de éste, se incrementa sus posibilidades de retención de humedad, aireación y descomposición de la materia orgánica.
- La presencia de micorrizas en los suelos moviliza una gran cantidad de nutrientes que antes no estaban a disposición de las plantas, por lo que incrementa la fertilidad de éstos. En la medida que los suelos sean menos fértiles se necesitarán más estructuras fúngicas para lograr una mayor eficiencia micorrízica.
- Las micorrizas mejoran la capacidad productiva de suelos poco productivos, como los afectados por la desertificación, la salinización, la erosión hídrica y eólica.
- Otro de los efectos más interesantes de las micorrizas en el suelo, es su papel en relación con el ecosistema en el que se desarrollan; así interaccionan con diversos microorganismos del suelo, estableciendo provechosas cooperaciones con unos y compitiendo con otros generalmente de tipo patógeno e incluso interactuando con la micro fauna de la rizósfera (Nemátodos, Afidios, Ácaros, entre otros).
- Las Micorrizas, prolongan la vida de los suelos agrícolas productivos, contribuyendo a su uso más diverso, económico y ecológico.
- En zonas áridas y semiáridas las Micorrizas, pueden ayudar a las plantas simbiotas a captar agua para tolerar el estrés hídrico.

2.12. Lombricultura

La lombricultura es una tecnología que utiliza una especie de lombriz domesticada para transformar todo tipo de material orgánico en humus, carne y harina de lombriz, como productos finales (Morales-Munguía, 2009), por otro

lado Friedich, (2001) y Hernández (2002), definen a la lombricultura como una serie de operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices y transformación, de subproductos orgánicos en material fertilizante. En general, se conocen alrededor de 3000 especies de lombrices, sin embargo, la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es de las más usadas en la lombricultura debido a su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales, alta tasa de crecimiento, alta eficiencia productiva y a su fácil manejo (Guadarrama y Taboada, 2004; Gheisari et al., 2010).

Según Geler (2007) las principales características de la lombricultura son las siguientes:

- Es un procedimiento sencillo.
- Las lombrices se pueden criar en cautiverio.
- El humus producido a diferencia de las compostas tiene una elevada carga microbiana en la plantas.
- Se obtiene abono orgánico (humus) de alta calidad.
- El humus mejora la composición y estructura del suelo.
- La lombriz puede emplearse como proteína.
- Se obtienen beneficios económicos a corto plazo.
- La lombriz contiene sustancias medicinales.
- En su actividad de alimentación en los residuos orgánicos desodoriza el ambiente al transformar residuos peligrosos en inocuo.

2.12.1. Humus de lombriz

La base de la fertilidad de los suelos, está representada por el humus (Pardo *et al*; 2005; Mendoza, 2010). El humus proviene de la materia orgánica de origen vegetal y animal, que al ser atacada por los microorganismos del suelo, se transforma en humus de acuerdo por Friedich (2001) menciona que el humus de lombriz tiene un color café oscuro a negruzco, granulado e inodoro con un alto porcentaje de ácido húmicos y fulvicos. Su acción combinada permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición, cuya actividad residual en el suelo llega hasta cinco años, alta carga

microbiana (40 mil millones por g seco), que restaura la actividad biológica del suelo. Es un fertilizante bio-orgánico activo, que ejerce en el terreno una acción biodinámica y mejora las características organolépticas de las plantas, flores y frutos.

Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin ningún riesgo de quemar las plantas; la química del humus de lombriz es tan equilibrada y armoniosa que permite colocar una semilla directamente en él, sin ningún riesgo.

Todo esto hace del humus un abono orgánico prácticamente insuperable, que puede incrementar hasta 300% la producción de hortalizas y otros productos vegetales. El humus puede almacenarse por mucho tiempo sin que se alteren sus propiedades, pero es necesario que mantenga siempre cierta humedad, la óptima es de 40% (Friedrich, 2001).

2.12.2. Usos y beneficios de la lombricomposta

Dentro de los principales beneficios de la lombricomposta se tienen los siguientes:

- Aporta cantidades equilibradas de nutrientes.
- Beneficia al suelo con millones de microorganismos.
- Logra una mejor aireación al modificar la estructura del suelo.
- No existe peligro de sobredosis.
- No tiene vencimiento, ya que a medida que pasa el tiempo es más asimilable.
- Mejora la salud de la planta haciéndola más resistente a plagas.
- Estimula un mayor desarrollo radicular.
- Retiene la humedad en el suelo por mayor tiempo.
- Mejora el pH en suelos ácidos.
- Equilibra el desarrollo de hongos presentes en el suelo.
- Aumenta la producción en los cultivos.
- Actúa como potenciador de la actividad de muchos pesticidas y fertilizantes del mercado.
- Su aplicación disminuye la contaminación de químicos en los suelos.

2.12.3. Obtención de humus líquido de lombriz

Este líquido es captado de los escurrimientos que se generan al regar las camas de lombrices, tiene humus y minerales además de otros compuestos, los cuales se recogen en una pileta al final de la cama (Pimienta, 2004). Mientras que De la Cruz (2005) señala lo importante que es el humus como fuente de minerales y agrega que la calidad de la lombricomposta es muy variable de una cosecha a otra, ya que las condiciones bajo las que se produce influyen en el producto final, uno de los factores es la cantidad de agua, si se aplican cantidades fuertes de agua el material queda más pobre. También la calidad está en función del valor nutritivo de los desechos que se utilizan para alimentar las lombrices, entre mejor sea la calidad del alimento mejor será la calidad del líquido.

Cuadro 3: Composición del humus sólido de lombriz (De la Cruz, 2005).

Humedad	De 30 a 60 %
pH	6.8 a 7.2
Nitrógeno	1 a 2.6 %
Fosforo	2 a 8 %
Potasio	1 a 2.5 %
Calcio	2 a 8 %
Magnesio	1 a 2.5 %
Materia orgánica	30 a 70 %
Ácido fúlvico	2.8 a 5.8 %
Acido húmico	1.5 a 3 %
Sodio	0.02 %
Cobre	0.05 %
Hierro	0.02 %
Manganeso	0.006 %
Relación C:N	10 a 1

Cuadro 4: Comparación entre lombricomposta y productos químicos (De la Cruz, 2005).

	Humus de lombriz (lombricomposta)	Abonos inorgánicos (fertilizantes químicos)
Dosis de aplicación	A mayor cantidad, mayor beneficio.	En dosis excesivas, hay graves perjuicios.
Vencimiento	Cuando más viejo, más nutritivo.	Tiene corta vida útil.
Acidez/alcalinidad	Lleva el pH del suelo hacia lo neutro (pH 7).	Acidifica o alcaliniza el suelo según la sal usada.
Estructura del suelo	Hace el suelo más suelto y mejora aireación.	Genera apelmazamiento del suelo.

Nutrientes	Están equilibrados.	Hay poco aporte de micronutrientes.
Beneficios	A corto, mediano y largo plazo.	A corto plazo, hay mejoras. A mediano y largo plazo se debilita el suelo y se hace dependiente de nuevos aportes.
Microorganismos	Aporte de millones de microorganismos beneficiosos.	No aporta y por cambios de pH se desarrolla los perjudiciales.
Ecología	El abono es producto del reciclaje de desperdicios urbanos y agrícolas.	Produce desertificación del suelo y contaminación del agua.
Costo	Mayor costo al iniciar el abonado, pero disminuye con el tiempo.	Es barato, pero se hace dependiente de continuas aplicaciones.

2.12.4. Usos y aplicación del abono de lombriz

La cantidad de abono de lombriz por aplicar a un suelo en particular dependerá del análisis químico de este; sin embargo, un criterio general es el de aplicar de 2 a 4 ton/ha-1 de lombricomposta para suelos con buen contenido de materia orgánica. El abono se incorpora con el último paso de rastra, en forma conjunta con el fertilizante, con la semilla o al momento del deshierbe y aporque. En los frutales se aplica en la zona de goteo debiéndose cubrir con tierra u hojarasca (Martínez 2005).

2.12.5. Composición y características de la lombricomposta

- Tiene alta carga microbiana que restaura la actividad biológica del suelo, se reportan 2 millones de bacterias por gramo seco. Se requiere que la lombricomposta cosechada continúe con una humedad del 17 al 30% para mantener vivos los microorganismos presentes en ella.
- Contiene materia orgánica (MO) que es un material químico y biológicamente estable. Se puede encontrar en cantidades variables: de 0 a 20% es un nivel bajo, de 20 a 40% es medio y más de 40% es alto. Cuando la lombricomposta se utiliza como mejorador de suelo, se prefiere que contenga niveles altos de materia orgánica.
- Proporciona N a las plantas, tanto de manera directa por el N que contiene como de forma indirecta, porque modifica la población

microbiana del suelo; posibilitando la fijación del N atmosférico por acción de los microorganismos.

- Incorpora al suelo compuestos que contienen: fósforo, potasio, carbono, magnesio, sodio, calcio, zinc, manganeso, cobre, boro, hierro, hidrógeno, oxígeno y azufre (Hernández, 1996). También aumenta la disponibilidad del fósforo y potasio que tiene el suelo donde se aplica, porque modifica las características físico-químicas del terreno.
- Tiene elevada carga de enzimas.
- Presenta un alto porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos, cuya acción combinada permite una entrega inmediata de nutrientes asimilables y un efecto regulador de la nutrición, cuyo efecto residual en el suelo llega hasta 5 a 10 años.
- Es un fertilizante orgánico activo, 3 veces más fértil que cualquier otro abono. Las recomendaciones de aplicación son: para almácigo de un 10 a 50%; en bolsas o macetas del 20 al 25%; en campo de 3 a 4 toneladas por hectárea. Cuando se utiliza para fertilizar, es preferible cubrirla ligeramente con tierra, para no perder alguna de sus propiedades.
- El tamaño de los turriculos repercute en la rapidez con que la lombricomposta va ser absorbida por las plantas; cuando tiene tamaño fino es rápidamente absorbida y se recomienda cuando urgen los nutrientes; la de tamaño grueso se absorbe más lentamente.
- Durante el trasplante previene enfermedades y nematodos, además de evitar el shock a las plantas por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.
- Mejora la estructura del suelo, formando agregados que lo hacen más permeable al agua y al aire, aumentando la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar nutrientes para las plantas en forma sana y equilibrada.
- Generalmente su pH es neutro, entre 6 y 7.3.
- Al entrar en contacto con las plantas o semillas no tiene riesgo de "quemarlas".
- Tiene una acción antibiótica que aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y enfermedades.

- En su composición se han encontrado hongos micorrízicos (especies de hongos microscópicos que se asocian con las raíces de algunas plantas y pueden beneficiarlas en su nutrición, o reduciendo y en unos casos suprimiendo los daños causados por ataque de microorganismos patógenos). (Alarcón, 2000).
- Es rico en hormonas (sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias que estimulan 10 procesos biológicos de la planta), que favorecen el crecimiento, floración y fijación de flores y frutos. El color oscuro que le da al suelo.

2.12.6. Ventajas del uso de lombricomposta:

- Favorece la ecología al reducir problemas de contaminación generados por desechos orgánicos sólidos.
- Transforma los desechos orgánicos en productos o coproductos de gran beneficio para el hombre.
- El abono de lombriz presenta una alta carga microbiana que le permite participar directamente en la regeneración de suelos.
- Los nutrientes en el abono de la lombriz están en forma disponible para las plantas; su contenido respecto a ciertos elementos en particular varía en función del alimento que consume la lombriz.
- El contenido de proteína presente en las lombrices permite que puedan utilizarse como complemento en la alimentación humana y animal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El experimento se estableció en el año 2014 en un invernadero tipo dos aguas o capilla dentro del área del establo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. Las condiciones ambientales durante el experimento fueron una temperaturas mínima y máxima promedio de 18 y 34°C respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 25% y 72%.

3.2. Material genético

Se utilizaron plántulas de tomate cv. Rio Grande, sus características generales son: variedad de tomate rastrero, frutos firmes con gran cantidad de pulpa y buen sabor, buen tamaño, lo que le permite ventas como en fresco o para procesamiento industrial, su color es rojo intenso, madurez relativa es semiprecoz, su hábito de crecimiento es determinado, el rendimiento que alcanza es 50-80 ton/ha⁻¹. Y presenta resistencia a *verticillium*, *alboatum*, *Fusarium oxysporum* raza 1 y 2.

3.3. Tratamientos

Se evaluaron 9 tratamientos; mismos que consistieron en un consorcio de hongos micorrízicos (CHM), micorriza comercial [*Glomus intraradices* (Gi)] y el testigo, para este último se empleó la solución nutritiva (SN) de Steiner (1961) y tres concentraciones de fósforo (50, 75 y 100% respectivamente) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Tratamientos evaluados en plantas de tomate cv. Rio grande.

Tratamientos	P (%)	Proporciones (%)
CHM	50	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	75	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	100	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
Gi	50	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	75	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	100	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
Testigo	50	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	75	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta
	100	10 suelo + 30 perlita + 60 lombricomposta

P = fosforo, CHM = consorcio de micorrizas, Gi= *Glomus intraradices*, Testigo= sin inocular.

3.4. Metodología

3.4.1. Preparación del terreno

Esta actividad consistió en levantar las camas, de 0.8 m de ancho, por 15 m de largo, se hizo de manera manual con el uso de azadones y picos, encima de la cama se puso un plástico de polietileno para evitar que las raíces tengan contacto con el suelo.

3.4.2. Llenado de contenedores y esterilización

Una vez preparada la cama se procedió a llenar los contenedores (polietileno de color negro) con un sustrato a base de lombricomposta, perlita, arena y suelo, el suelo que se usó fue esterilizado a 120°C en autoclave por tres veces. Después del llenado se le dio un riego pesado para el posterior trasplante.

3.4.3. Trasplante

Se utilizaron plántulas de 15 cm de altura de tomate cv. Rio Grande las cuales fueron trasplantadas el 12 de julio de 2014 en contenedores de polietileno negro con un volumen de 5 litros. Se plantó una plántula en cada contenedor cubriendo totalmente el cepellón; la distancia entre contenedor fue de 15 cm y con un total de 6 plantas por tratamiento.

3.4.4. Inoculación

Antes del trasplante se inoculó el hongo micorrízico comercial (Gi) 1g con 500 esporas, mientras que el consorcio de hongos micorrízicos nativos (CHM) fueron 100 g de suelo con las mismas 500 esporas.

3.4.5. Obtención del CHM

Los hongos micorrízicos fueron seleccionados de un experimento previo, obteniendo este el mejor % de micorrización y se obtuvo de un suelo con poca materia orgánica (1%). Se recolectaron 3 kg de suelo con raíces de plantas y la extracción de las esporas de estos hongos fue de acuerdo al método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963).

3.4.6. Características de la lombricomposta y agua

La lombricomposta y el agua utilizada se consideraron las propiedades químicas de la mismas (Cuadro 6) para la formulación de las soluciones nutritivas (SN).

Cuadro 6. Características físicas y químicas de la lombricomposta utilizada para el cultivo de tomate var. Rio grande y análisis de agua.

Análisis de lombricomposta			Análisis de agua	
Característica	Valor	Clasificación	Concentración iones (meq L ⁻¹)	
Da (g·cm ⁻³)	.67		Ca ⁺²	4.2
% arena	65.40		Mg ⁺²	3.9
% de limo	20		Na ⁺¹	0.54
% de arcilla	14.60		Cl ⁻	1.38
pH	8.4	Alcalino	SO ₄ ⁻²	5.9
CE (mmhos/cm)	2.56	Salino	HCO ₃ ⁻	5
MO (%)	5	Muy alto		
N (meq·litro ⁻¹)	0.62	Bajo		
P (meq·litro ⁻¹)	0.56	Medio		
K (meq·litro ⁻¹)	1.30	Bajo		
Ca (meq·litro ⁻¹)	2.20	Muy bajo		
Mg (meq·litro ⁻¹)	3.00	Muy bajo		
SO ₄ (meq·litro ⁻¹)	6.04	Bajo		
Cl (meq·litro ⁻¹)	6.00	Bajo		
Fe (meq·litro ⁻¹)	0.31	Alto		
Cu (meq·litro ⁻¹)	0.01	Medio		
Zn (meq·litro ⁻¹)	0.08	Alto		
Mn (meq·litro ⁻¹)	0.09	Bajo		
B (meq·litro ⁻¹)	0.15	Alto		

Da= densidad aparente, CE= conductividad eléctrica, MO= materia orgánica

3.4.7. Tutoreo

Para la realización del tutoreo se utilizaron 3 metros de rafia de poliestireno que se enredó de un alambre localizado paralelo al surco, al cual se enredó verticalmente la planta, pudiendo así hacer más fácil su manejo.

3.4.8. Podas

Las podas, consistieron en eliminar los brotes laterales de la planta conforme esta iba creciendo, con la finalidad de manipular la planta a un solo tallo para hacer más fácil el manejo y aprovechar al máximo la intensidad lumínica que puede pasar a través del invernadero, esta actividad se realizó durante todo el ciclo del cultivo hasta llegar a cosecha.

3.4.9. Riegos

Los riegos se efectuaron manualmente aplicando un volumen suficiente de la solución para mantener una fracción de lixiviado de 30%, efectuándose cada 2 días. El experimento finalizó a los 120 días después del trasplante, para determinar las siguientes variables:

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Diámetro polar y ecuatorial

Para las variables diámetro polar y ecuatorial se realizó las respectivas mediciones de los lados polares y ecuatoriales de los frutos de tomate, con la ayuda de un vernier manual marca pretul (cm), se utilizaron cuatro tomates al azar de cada muestra registrada por tratamiento, midiendo a cada uno de los frutos para la obtención de los datos.

3.5.2. Sólidos solubles totales (°Brix)

En la variable sólidos solubles totales (SST), se utilizó un refractómetro para medir los °Brix, marca HI 96501 debidamente calibrado, en el cuál se colocó una gota del jugo de tomate, y se tomó la lectura.

3.5.3. pH

Para la variable pH se colocó el jugo del fruto en un crisol y con el medidor de pH se tomó la lectura.

3.5.4. Vitamina "C"

Para la variable Vitamina "C" se pesó en la balanza electrónica 3g de muestra del fruto del tomate y se colocó en un mortero, agregándole 10 ml de HCL al 2% y cuidadosamente se trituró, hasta obtener una consistencia de papilla de bebe, se le agregó 100 ml de agua destilada para homogeneizar, después se filtró el contenido del mortero a través de una gasa que estaba colocado en un matraz Erlenmeyer de 250 ml que fue nuestro recipiente para la obtención del filtrado y se midió el volumen, posteriormente se tomó una alícuota de 10ml del filtrado y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml, en una bureta se midió un volumen conocido de reactivo thielmann, titulamos la alícuota hasta la aparición de un color rosa que durante 30 segundos y se anotó el volumen gastado, finalmente se calculó el contenido de vitamina C a través de la siguiente formula:

$$\text{Vitamina "C"}/100\text{g} = \text{ml gastados de reactivo thielmann} * 0.088 * \text{VT} * 100$$

Dónde:

0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1 ml de reactivo de thielmann.

VT= Volumen total en ml del filtrado de vitamina C en HCl

VA= Volumen en ml de la alícuota valorada.

P= Peso de muestra en g.

3.5.5. Licopeno

En el caso de la variable licopeno se recurrió al siguiente procedimiento, se pesaron 3g de la pulpa del fruto de tomate (pericarpio), la colocamos en un mortero, y se añadieron 3 ml de amortiguador de fosfatos (pH 7), cuidadosamente se trituró, hasta obtener la consistencia de papilla, de la mezcla obtenida se obtuvieron 2 ml y se colocó en tubos de ensaye, se agregaron 4 ml de la mezcla hexano- acetona (3:2), se agitó y mezcló para

separar y disolver los pigmentos de las membranas, se centrifugó a 3000 revoluciones/min durante 10 minutos, cuidadosamente se retiró 1.5 ml de la parte superior del pigmento obtenido de la mezcla que fue una capa coloreada, y se le hizo lectura a una absorbancia de 502 nm en un espectrofotómetro y se anotaron las lecturas.

3.5.6. Acides titulable

En el caso de acides titulable se pesaron 5 g de pulpa de la muestra del fruto del tomate, y se colocó en un mortero, cuidadosamente se trituró, hasta obtener una consistencia de papilla posteriormente, se añadieron 50ml de agua destilada y se homogenizó, después se calentó por 5m en la estufa eléctrica a 200°C dentro de un caso como recipiente conteniendo agua, se sacó del recipiente y se dejó enfriar por un minuto, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína, después se tituló con NaOH a -0.5 de N hasta que la mezcla tuviera un color rosa fuerte y se anotó el volumen gastado y se prosiguió con el cálculo a través de la siguiente formula.

3.6. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para este trabajo fue un bloques completos al azar con un arreglo factorial de (3 x 3) con 6 repeticiones para cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizado el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2. La unidad experimental consistió de un contendor con una planta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los HMA habitan en la rizosfera e interactúan con las raíces de las plantas formando una simbiosis mutualista, que permite a la planta la absorción más eficiente de nutrientes (Hernández y Chailloux, 2001; Vessey 2003) y de agua Augé (2004), al interactuar con abonos orgánicos como la lombricomposta estimulan el crecimiento de las plantas y favorecen su sano desarrollo (Tsavkelova *et al.*, 2006).

Las variables de crecimiento y calidad de fruto fueron afectados por la concentración de P y por la inoculación de los hongos micorrízicos. La interacción de ambos factores afectó significativamente el comportamiento de estas variables (Cuadro 7).

Cuadro 7: Efecto de las concentraciones de P y hongos micorrízicos en planta de tomate cv. Rio grande sobre parámetros del crecimiento y calidad nutraceutica de fruto.

P (%)	DP (cm)	DE (cm)	°Brix (%)	VC (mg/100g)	LICOPENO (mg.kg-1)	AT (%)
50	5.48a	4.15a	4.65a	65.90a	10.93b	3.17c
75	4.40a	4.04a	4.32c	49.26c	10.67b	4.15b
100	5.57a	4.15a	4.43b	53.48b	12.50a	5.14 ^a
ANOVA	Ns	Ns	0.001	0.001	0.001	0.001
HONGOS MICORRIZICOS						
TEST	5.50a	4.13a	4.21c	55.49b	10.00b	4.02 ^a
Gi	5.60a	4.11a	4.31b	52.11c	9.68b	4.26 ^a
CHM	5.39a	4.10a	4.89a	61.06a	14.42a	4.19 ^a
ANOVA	Ns	Ns	0.001	0.001	0.001	Ns
INTERACCION	0.05	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
CV (%)	4.18	4.29	1.72	2.66	4.72	8.02

P ≤ ns, 0.01 y 0.001 = no significativa y significativo, TEST= Testigo CHM= Micorriza nativa 1, Gi= Micorriza comercial, DE= diámetro ecuatorial, DP= diámetro polar, VC= vitamina C, AT= Acidez titulable, ANOVA= análisis de varianza, CV= Coeficiente de variación. Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de las comparación de medias con Tukey ($\alpha \leq 0.05$).

4.1. Diámetro polar y ecuatorial

Las plantas que fueron inoculadas con *Glomus intraradices* (Gi) aumentan el diámetro polar de los frutos con el incremento de la concentración de P de 50 a 75%, superior a esta concentración disminuye (Figura 1A) aunque no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, mientras que las plantas inoculadas con el consorcio de hongos micorrízicos (CHM) aumentan el diámetro polar con el incremento de la concentración de P (Figura 1A). Para las plantas testigo disminuye el diámetro polar con 75% de P, pero con 50 y 100% de P fue mayor el diámetro (Figura 1A). Se ha reportado que las micorrizas influyen en el tamaño de los productos agrícolas (Kaya *et al.*, 2003; Mena-Violante *et al.*, 2006), en este sentido Rivera-Chávez, *et al.*, (2012) encontraron que el diámetro polar y ecuatorial de frutos de fresa fueron mejores cuando aplicó vermicomposta y que en general la combinación de HMA con vermicomposta mejoraron el diámetro polar y ecuatorial. En esta investigación se encontró algo similar ya que la inoculación en las plantas de tomate con micorrizas comerciales y nativas también incrementa el diámetro polar de los frutos, principalmente cuando están en combinación con 50 y 75% de P. Mientras que al interaccionar Gi con 100% P decrece el diámetro polar. Esto podría ser por que la aplicación de fertilizantes químicos provoca la degeneración de la capacidad micorrízica.

El diámetro ecuatorial de los frutos en plantas inoculadas con Gi no fue afectada negativamente con 50 y 75% de P, pero al incrementar a 100% de P decrece (Figura 1B). Mientras que en aquellas que fueron inoculadas con CHM disminuye el diámetro ecuatorial de fruto con el aumento de la concentración de P (Figura 1B). Para las plantas testigo disminuye el diámetro ecuatorial con 75% de P, pero con 50 y 100% de P es mayor el diámetro ecuatorial (Figura 1B). En cuanto al diámetro ecuatorial la inoculación de Gi combinado con 50 y 75% de P no afecta negativamente, pero como se mencionó anteriormente el incremento de la concentración de P al 100% provoca una disminución de este, estos resultados concuerdan con Moreno–Reséndez *et al.*, (2005) quienes en su investigación obtuvieron mejores diámetros ecuatoriales al aplicar lombricomposta combinado con micorrizas en comparación con el testigo. Lo anterior también coincide con Terry y Leyva (2006) y Manuel *et al.*, (2014)

quienes al inocular micorrizas obtuvieron un incremento de diámetro del fruto en chile serrano.

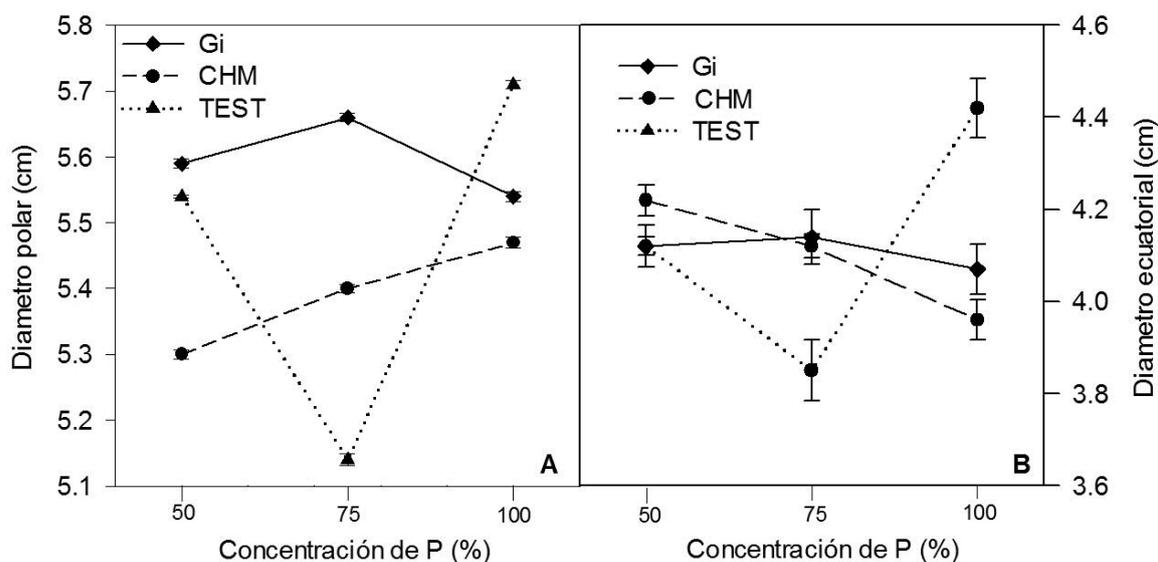


Figura 1. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el diámetro polar y ecuatorial de fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

4.2. Sólidos solubles totales (°Brix)

Las plantas de tomate que tienen mayor concentración de °Brix e inoculadas con Gi es cuando se le suministra un 50% de P, mientras que conforme se le incrementa la concentración de P esta tiende a disminuir (Figura 2), en cuanto a las plantas inoculadas con el CHM a concentración de 75% de P los °Brix disminuyen, pero a concentraciones de 50 y 100% de P se presentan mayores cantidades de °Brix. (Figura 2), mientras que las plantas testigo son las que presentan menor concentración. (Figura 2). En cuanto a los °Brix y como se menciona anteriormente una de las mayores cantidades de °Brix se obtuvo al aplicar una concentración de 50% de P, pero la inoculación del CHM y al interaccionar con 100% P genera la mayor cantidad de °Brix en los frutos, esto coincide con Preciado *et al.*, (2011), quienes encontraron que la inoculación de micorrizas nativas genera los valores más altos de °Brix, por su parte Moreno-Reséndez *et al.*, (2005) encontraron promedios significativamente más altos para la variable °Brix (6.2 °Brix), aplicando una mezcla de vermicomposta +

arena + micorrizas en plantas de tomate, finalmente también Ochoa–Martínez *et al.*, (2009) evaluaron el aporte de compost y vermicomposta para producir tomate y encontraron un aumento de 19% de los °Brix.

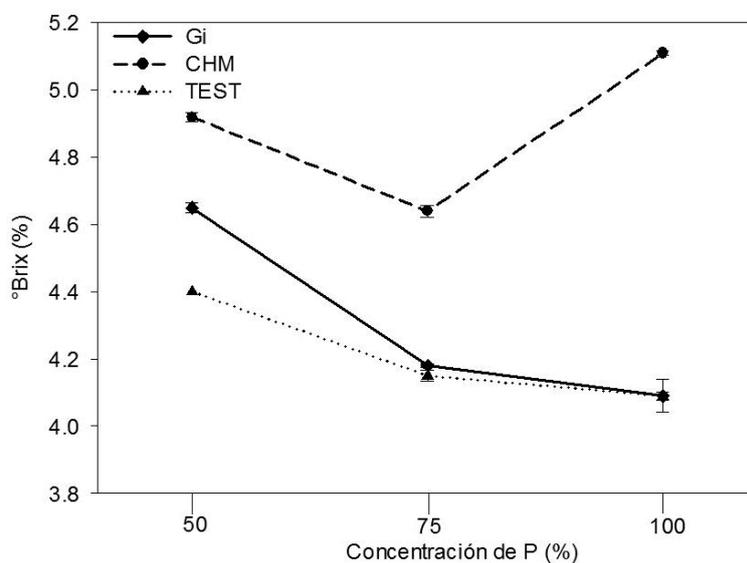


Figura 2. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el °Brix del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

4.2. pH

En cuanto al pH de la pulpa del fruto en aquellas plantas inoculadas con Gi y a una concentración de 50% de P tiende a ser el menor, comparado con todos los demás frutos de los otros tratamientos, sin embargo al incrementar la concentración de P al 75% el pH incrementa, pero nuevamente el aumento de la concentración de P provoca una disminución del pH de la pulpa del fruto (Figura 3), las plantas inoculadas con el CHM disminuye el pH de la pulpa del fruto conforme se incrementa la concentración de P (Figura 3). Los frutos de las plantas testigo presentan un comportamiento casi lineal pues con el aumento de concentración de P no influye en el pH (Figura 3). En cuanto al pH de la pulpa del fruto al inocular micorrizas nativa y comerciales, se incrementa el pH, a una concentración de 75% de P, sin embargo a una concentración de P de 100 y 50% esta decrece, excepto el CHM quien mantiene el mismo pH, esto coincide con Terry *et al.*, (2006), quienes afirman que los (HMA), estimulan

positivamente el crecimiento de las plantas de tomate, así como aumento en el pH, por su parte Lazcano *et al.*, (2009) y McGinnis *et al.*, (2004) reportaron que las aplicaciones de vermicomposta mantienen un nivel adecuado de pH y contenido de sales en los frutos.

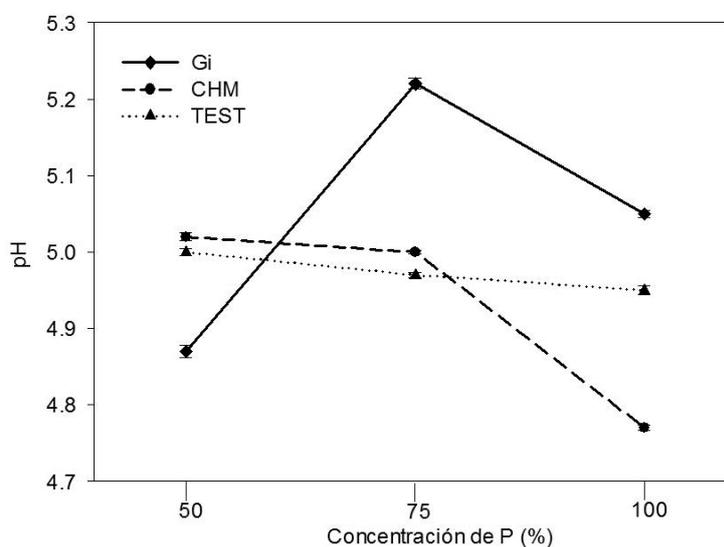


Figura 3. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el pH del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

4.4. Vitamina “C”

En cuanto a la vitamina C del fruto de las plantas inoculadas con Gi son afectadas positivamente al aplicar una concentración de 50% de P aumentando la cantidad de vitmamina C, pero a concentraciones de 75% de P disminuye la cantidad de vitamina C y superior a esta concentracion de P aumenta la concentración de este (Figura 4), las plantas inoculadas con el CHM, y a una concentración de 75% de P la cantidad de vitamina C disminuye, mientras que a 50 y 100% de P presentan una mayor cantidad de vitamina C. (Figura 4). Para las plantas testigo a mayor concentracion de P la cantidad de vitamina C tiende a disminuir. (Figura 4). La concentración de vitamina C en los frutos es afectada positivamente por la inoculación de Gi y CHM al aplicar una concentracion de 50% de P genera las mayores cantidades de vitmamina C, pero a concentraciones de 75 y 100% de P la cantidad de vitamina C disminuye a excepción del CHM que a una concentracion de P de 100% tiende a

incrementar, esto coincide con Mayra *et al.*, (2006; Maylew (2004) y Osuna (1983) quienes evaluaron el efecto de la aplicación de lombricomposta y micorrizas en el cultivo del tomate, mostrando sensibilidad del cultivo ante la acción bioestimuladora de la lombricomposta y los hongos logrando un mayor incremento en el contenido de vitamina C, por su parte Terry y Leyva (2006) afirman que los (HMA), estimulan positivamente el crecimiento de las plantas de tomate, así como también el incremento de vitamina C en el fruto.

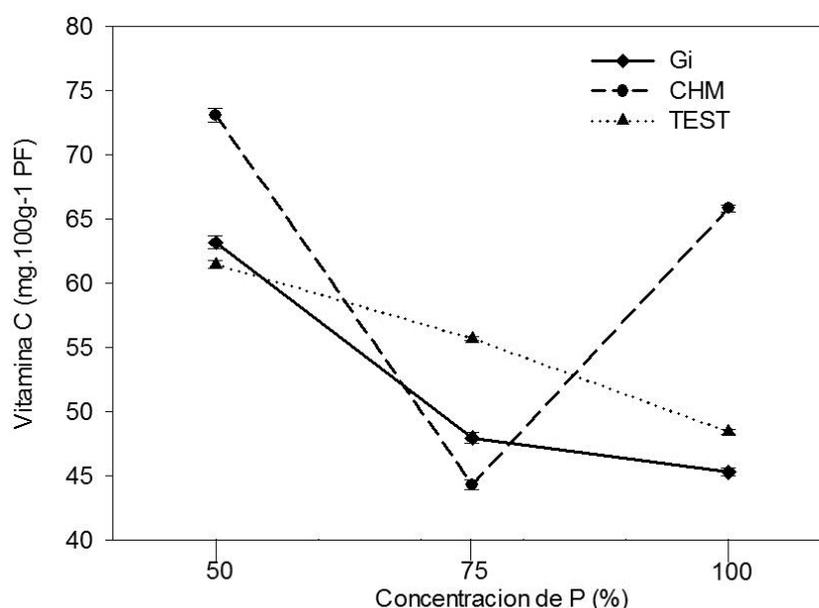


Figura 4. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en la vitamina “C” del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

4.5. Licopeno

En el fruto de las plantas que fueron inoculadas con Gi y a concentraciones de 50 y 75% de P, son los que tiene menor cantidad de licopeno comparado con los demás frutos de los otros tratamientos, sin embargo, a una concentración de 100% de P esta aumenta ligeramente (Figura 5), las plantas inoculadas con el CHM son las que presentan mayor cantidad de licopeno ya que conforme se incrementa la concentración de P la cantidad de este antioxidante se incrementa (Figura 5), mientras que para las plantas testigo conforme se

aumenta la concentración de P disminuye la cantidad de licopeno (Figura 5). Para la concentración de licopeno en los frutos de tomate, las plantas que fueron inoculadas con Gi, presentan menor cantidad de licopeno, sin embargo cuando se le suministra mayor concentración de P, esta aumenta levemente, mientras que las plantas inoculadas con el CHM son las que presentan mayor cantidad de licopeno, ya que conforme se incrementa la concentración de P este antioxidante incrementa, esto es similar a lo encontrado por Ulrichs *et al.*, (2008) y Fester *et al.*, (2002), quienes evaluaron en plantas de tomate la inoculación de (*Glomus ssp*) obteniendo contenido más altos de licopeno en frutos, demostrando el potencial de la colonización con HMA para incrementar la concentración de compuestos antioxidantes. En contraste a esto fue señalado por Aranda (2013) pues concluye que no existe efecto alguno de los microorganismos endófitos en el contenido de licopeno.

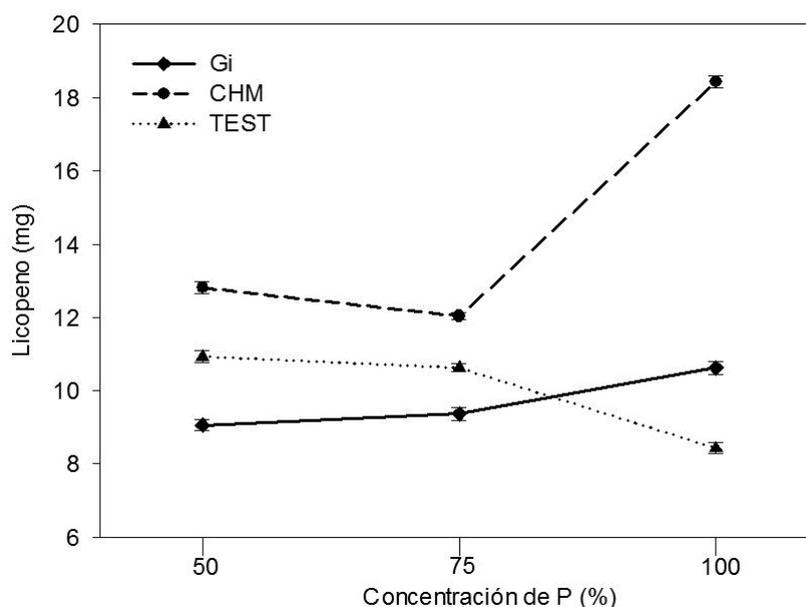


Figura 5. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en el licopeno del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

4.6. Acides titulable

La acides titulable (AT) de los frutos de las plantas e inoculadas con Gi y con el CHM tienden a incrementar la acides conforme se incrementa la concentración de P (Figura 6). Mientras que los frutos de las plantas testigo se comportan

diferente, la concentración de 50% y 75% de P tienden a incrementar la acides, pero a una concentración mayor de P la acides tiende a aumentar marcadamente (Figura 6). En cuanto a la acides titulable (AT) del fruto de las plantas inoculadas con Gi y CHM y al interaccionar con el aumento de la concentración de P incrementan la acides, esto coincide con Mayra *et al.*, (2006); Maylew (2004) y Osuna (1983) quienes evaluaron el efecto de la aplicación de lombricomposta y hongos micorrízicos en algunos indicadores de calidad interna del fruto de tomate, obteniendo efectos positivos en la cantidad de vitamina C, SST y acidez titulable (AT) al aplicar lombricomposta y micorrizas.

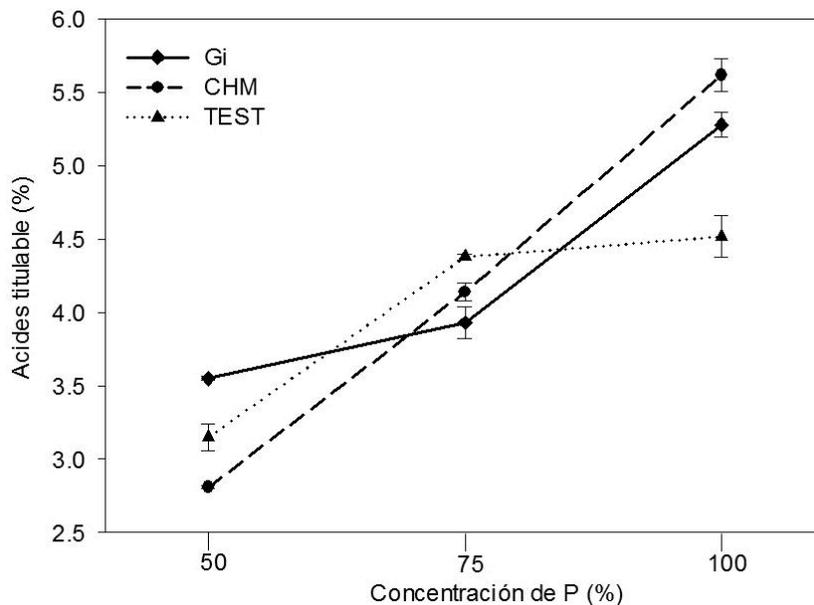


Figura 6. Efecto de la concentración de P y de los hongos micorrízicos inoculadas en la acides titulable del fruto de tomate cv. Rio grande. Las barras indican el error estándar de las medias.

VI. CONCLUSIONES

Las plantas de tomate inoculadas con HMA (Gi y CHM) presentaron un aumento en el fruto la cantidad de SST, vitamina "C", licopeno así como mejoras en el pH y acides titulable, en comparación con aquellos frutos sin inocular, lo que indica que la combinación de micorrizas con lombricomposta puede generar frutos de tomate con buena calidad nutraceutica.

El aumento de la concentración de P disminuye la calidad de los frutos a excepción de la acidez titulable, pues este incrementa con el aumento de la concentración de P.

VII. LITERATURA CITADA

Adesemoye, A. O. y Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer use efficiency. *Appl. Microbiol Biotechnol.*, vol. 85: 1-12.

Aguayo E y Artes, F. (2004). Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. *Compendios de Horticultura*, 15. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España). 9 (1): 59-65.

Aguirre-Medina, J. F. (2009b). Rendimiento y desarrollo de cultivos anuales y perennes con biofertilizantes microbianos en Chiapas. In: Cadena I.P., B. W. López, y G. M. Morales (Eds.). Primer encuentro Estatal de Productores Exitosos. Publicación especial No. 4. Instituto Nacional de Inv. ALARCON, Alejandro y Ferrera, C. R., Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular, Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, México, 2000. Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Pacifico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 160 p.

Alarcón, Alejandro y Ferrera, C. R., (2000). Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular, 3ª Edición. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, México. 55-60 pp.

Alcázar Ocampo, Manual Básico "Producción de Hortalizas". (Marzo del 2010.). http://www.utn.org.mx/docs_pdf/novedades/MANUAL_HORTALIZAS_PESA_CHIAPAS_2010.pdf

Al-Karaki, G. N. (2006). Nursery inoculation of tomato with arbuscular-mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. *Sci. Hort.* 109:1-7.

Aranda, C. A. (2013). Análisis cualitativo y cuantitativo de licopeno y ácido ascórbico en tomate y fresa, en presencia de microorganismos endófitos. 4ª edición. Universidad Internacional Andalucía. Málaga, España. 22-28 pp.

Armenta, B. A. D., G. C. García, B. J. R. Camacho, S. M. A. Apodaca, L. G. Montoya, P. E. Nava. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra-Ximhai* 6: 51-56.

Augé, R. M. (2004). Arbuscularmycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science* 84:373-381 p.

Bernaza, G. y M.A. (2006). Las Micorrizas: Alternativa Ecológica para una Agricultura Sostenible. (Fecha de consulta 02-03-2009).

Camargo-Ricalde S.L. (1999). Hongos micorrizogenos arbusculares. *Contactos*, 31: 62-67.

Camargo-Ricalde S.L. (2001). Some Biological aspects of the arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 68: 15-32.

Camargo-Ricalde S.L. (2002). Dispersal distribution and establishment of arbuscularmycorrhizal fungi: a review. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 71: 33-44.

Carpio, A.L.; Davies, F.T. and Arnold, M.A. (2005). Arbuscularmycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 130:131-139.

Casierra P. F. Álvarez J. O. Luque S. N. (2010). Calidad de frutos en tomate (*Solanum Lycopersicum* L. C.V. Roció) producidos bajo cobertura reflectiva y plástica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4(1):67-80.

Castaños, C. (1993). *Horticultura. Manejo simplificado*. Ed. UACH. Chapingo, México. 38-227 pp.

Chamarro, L. J. (2001). Anatomía y Fisiología de la planta. In: *El cultivo del tomate*. F. Nuez. Mundi Prensa. España: 43-91 pp.

Chanda, G.K. Bhunia, G. and Chakraborty, S.K. (2011). The effect of vermicomposting and other fertilizers on cultivation of tomato plants'. *Hortic. Fores.* 3:42-45. Conservación del suelo: Biofertilización, aspectos productivos y consecuencias en el manejo y conservación de la fertilidad del suelo. (2004). <http://www.produccion.com.ar> . Consulta: septiembre del 2008.

Curtis, P. (1996). Aspectos de la morfología de Angiospermas cultivadas. Universidad Autónoma Chapingo. 134 p.

De la cruz, R. R. A. (2005). Aprovechamiento de residuos orgánicos a través de composteo y lombricomposteo. Obtenida el 17/sep./2010 de: <http://www.uaaan.mx/academic/horticultura/memhortos/aprov-residuos> .pdf

Desgan, Y. H. Kusvaran, S. and Ortas, I. (2008). Responses of soilless grown tomato plants to arbuscularmycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. *Afr. J. Biotech.* 7:3606-3613.

Díaz F. A.; Alvarado, C. M.; Ortiz C. F. y Grageda, C. O. (2013). Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. *Rev. Mx. Cienc. Agric.* 4:315-321.

Dibut, A.B. y Martínez, VR. (2004). Biofertilizantes y Bioestimuladores. Métodos de inoculación. In: *Manual sobre Agricultura Orgánica Sostenible*. FAO.

Elo, S., Maunuksela, L., Salkinoja-Salonen, M., Smolander, A. and Haahtela, K. (2000). Humus bacteria of Norway spruce stands: plant growth promoting properties and birch, red fescue and alder colonizing capacity. *FEMS Microbiol. Ecol.* 31:143-152.

Escalona C. V., Pablo Alvarado V., Hernán Monardes M., Claudio Urbina Z., Alejandra Martín B., (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 2ª Edición, Facultades de CS. Agronómicas, Universidad de Chile 25-33 pp.

Esquinas, A. J. y F. V. Nuez. (2001). Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. In: El Cultivo del Tomate. F. Nuez. Mundi Prensa. España 13-42 pp.

Espinosa-Victoria D. (2000). Diálogo molecular: hongo micorrízico-arbuscular-raíz. En: Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular. Alarcón, A. & Ferrera-Cerrato, R. (eds.). IRENAT-Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México: 93-116.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Representante en México). (2008). 3-4.

Fernández, F; J. M; y Rodríguez, P. (2006). Efectividad de algunos tipos de inoculantes micorrízicos a base de *Glomus hoi-like* en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Amalia). Cultivos Tropicales 27(3): 25-30.

Fester, T., D. Schmidt, S. Lohse, MH Walter, G. Giuliano, PM Bramley, PD Fraser, B. Hause, y D. Strack. (2002). La estimulación del metabolismo de carotenoides en las raíces micorrizas arbusculares. Planta 216 (1), 148-54.

Friedrich, N. Kart, (2001). Lombricultura, Centro de Estudio Agropecuarios. Grupo Ed. Iberoamérica. 3ª edición México D.F. pp. 8, 14 -17.

Garza, L. (1985). Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia. UACH. Chapingo, México. 4 p.

Geler A. (2007). La Lombricultura. [*www.composteados.com/v3/castellanos/articulo/detalles1.a](http://www.composteados.com/v3/castellanos/articulo/detalles1.a).

George, R. (1999). Vegetable seed production. 2nd edition; CABI Publishing. UK at the at the University Press, Cambridge. 328 p.

Gerdemann J.W. and Nicolson H.T. (1963). Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society, 46: 235-244.

Gheisari, S., S. Danesh and S. M. Mousavi. (2010). Growth and Reproduction of *Eisenia fetida* in Vermicomposting of Organic Fraction of Municipal Solid Wastes Asian Journal of Chemistry 22(2) 1266-1274.

Gómez, O.; Casanova, A. S.; Cardoza, H.; Piñeiro, F.; Hernández, J. L.; Murguido, C. A.; León, M. F. y Hernández, A. (2010). Guía técnica para la Producción de tomate. Biblioteca ACTAF. Editora: Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova», La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-7210-07-8, 57p.

Guadamarra-Chavéz 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.

Guadamarra, R. O., y S. M. Tabeada. (2004). La Lombricultura, una Propuesta al Medio Rural. In: Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. 10-12 de marzo de 2004. Guadalajara, Jal. Mx.

Guenkov, G. (1966). Fundamentos de la horticultura cubana. Ediciones ciencia y técnica. Instituto del libro. La Habana, Cuba. 110-130 pp.

Guerrero, E.(1996).”Micorrizas Recurso Biológico del Suelo” Fondo Fen. Bogotá, Colombia, pp. 6-50.

Guerrero G; (2005). Estudio de los mecanismos aplicados en la homeostasis de metales pesados en el hongo formador de micorrizas arbusculares *Glomus intraradices*. Universidad de Granada Consejo de Investigación Científica. p 44-60.

Hernández-Díaz M. I; Chailloux-Laffita M. (2001). La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología* 5: 11-27 p.

Hernández, D. (2002). La lombricultura contra la contaminación ambiental. www.una.ac.cr/ambi/AmbresTico/106/hernandez106.htm-302.

Hernández, M. I. (2000). Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosfeéricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [Tesis de Maestría], INCA.

Hernández, S y Fortis A. (2010). Agricultura Orgánica; 1ª Edición, Universidad Juárez de Estado de Durango, Dgo. México. p 438.

Hernández-Díaz M. I; Chailloux-Laffita M. (2001). La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología* 5: 11-27 p.

Herrera, M. M. (2008). Estudio sobre la participación y función de moléculas señal en la regulación de la simbiosis Micorriza Arbuscular. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España.

Hunziker, A. T. (1979). South American Solanaceae: a synoptic survey. In: Hawkes, J. G.; Lester, R. N.; Skelding, A. D. (Eds.). The biology and taxonomy of the *Solanaceae*. Academic Press, New York & London: 4985 p.

Huerres, P. Caraballo, N. (2000). Horticultura. Ed. Pueblo y educación. La Habana, Cuba. 4-16 pp.

Jaramillo N., J. E.; Rodríguez, V. P.; Guzmán, A. M.; Zapata C., M. A. y Rengifo, T. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate Bajo condiciones protegidas*. Medellín, Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO–. Gobernación De Antioquia, Dirección Seccional de Salud de Antioquia, Plan de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Antioquia –Mana–, Convenio FAOMANA: Proyecto de Seguridad Alimentaria y Buenas Prácticas Agrícolas Para el Sector Rural en Antioquia, Proyectos UTF/COL/027/COL, TCP/ COL/3101. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica–, Centro de Investigación La Selva. 313 p.

Johnson N.C., Graham J.H. Y Smith F.A. (1997). Functioning of mycorrhizal association along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist*, 135: 575-585.

Juana Pérez, Guillermo Hurtado, Víctor Aparicio, Quirino Argueta, Marcos A. Larín. (2006). Guía técnica, cultivo de tomate, PP. 19-22.

Kaya, C; Higgs, D; Kirnak, H, Tas. I. (2003). Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) grown under well-watered and water stressed conditions. *Plant Soil* 253:287-292 p.

Kennedy, I.R. (2001). Biofertilisers in action. *Aust. J. Plant Physiol.* 28:825-827. Linderman, R.G. and Davis, E.A. 2004. Evaluation of commercial inorganic and organic fertilizer effects on arbuscular-mycorrhizae formed by *Glomus intraradices*. *Hort Technology* 14:196-202.

Lazcano, C.; Arnold, J.; Tato, A.; Zaller, J. G. y Domínguez, J. (2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish J. Agric. Res.* 7:944-951.

Manuel Alvarado Carrillo, Arturo Díaz Franco y María de los Ángeles Peña del Río. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.3, p. 513-518.

Maroto, B. (2002). *Horticultura herbácea especial*. Ediciones Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España: 568 p.

Martínez Cerdas Claudia, (2005). Potencial de la Lombricultura. Elementos Básicos. *Lombricultura Técnica Mexicana*. Texcoco, Edo. México. pp. 7-8.

Martínez, P. F. (2001). Cultivo del tomate en invernadero frío. Curso de formación de formadores en horticultura protegida y semiprotegida. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Agencia Española de Cooperación Internacional. 15 p.

Mayra Arteaga, N. Garcés, F. Guridi, J. A. Pino, A. López, J. L. Menéndez, O. Cartaya (2006). Evaluación de las aplicaciones foliares de humus líquido en el

cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) var. Amalia en condiciones de producción. *Cultivos Tropicales*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, vol. 27, núm. 3, pp. 95-101.

Maylew, L. (2004). Humic substances in biological agriculture. *Eco-Agricultura*, vol. 34, no. 1-2.

Mena-Violante H. G; Ocampo-Jiménez, O; Dendooven L; Martínez-Soto G; González-Castañeda J; Davis F.T; Olalde-Portugal, V. (2006). Arbuscularmycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza* 16:261-267.

Mendoza, M I. (2010). Evaluación de Extractos Orgánicos y Proteína en Plántula de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

McGinnis, M., Warren, S., and Bilderback, T. (2004). Vermicompost – Potential as Pine Bark Amendment for the Nursery. In: *Nursery Short Course*. North Carolina State University. 8-10 pp.

Morales-Munguía, J. C., M. V. Fernandez Ramirez, A. Montiel-Cota, B. C. Peralta-Beltrán. (2009). Evaluación de sustratos orgánicos en la producción de lombricomposta y el desarrollo de lombriz (*Eisenia foetida*). *BIOtecnia XI* (1):19-26.

Moreno-Reséndez, A., Valdés-Pérez Gasga, M. T. y Zarate-López, T. (2005). Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agric. Tec. (Chile)*. 65(1):26-34.

Miller, R. M. y Jastrow J. D. (2000). Mycorrhizal fungi influence soil structure. En: *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (Y Kapulnik y DD Douds Jr, Eds), p.p. 3-18. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

Mujica, Y. y Medina, N. (2008) Respuesta del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la formulación líquida de cuatro cepas de *Glomus* en condiciones de campo. *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 3, p. 23-25.

Nuez, F. A., Rodríguez, J., Tello, J. Cuartero, B. Segura. (1995). El cultivo del tomate. Editorial Mundi Prensa. España. 125 p.

Ochoa-Martínez E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez, y N. Rodríguez-Dimas. (2009). Té de Composta como Fertilizante Orgánico en la Producción de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Invernadero. *Revista Chapingo, serie Horticultura* 15 (3): 245-250.

Ortega, M. L. D. (2010). Efecto de los sustratos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 129 p.

Oseni, T. O.; Shongwe, N. S. and Masarirambi, M. T. (2010). Effect of arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on the performance of tomato nursery seedlings in vermiculite. *Int. J. Agr. Biol.* 12:789-792.

Osuna, G. J. A. (1983). Resultados de la investigación sobre tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), bajo el sistema de acolchado en condiciones de invernadero. Buenavista, Saltillo. UAAAN.

Páez, O. G. Guerrero. (2006). Las Micorrizas: Alternativa Ecológica para una Agricultura Sostenible. [Fecha de consulta 02-02-2009]. Disponible en: http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index_es.jsp.

Pajarito-Ravelero, A. (2012). Uso de Biofertilizantes en la Producción de Frijol en el Estado de Durango. Libro Técnico No. 6. Campo Experimental Valle del Guadiana. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. México. 44-50 pp.

Paucar E. (2008). Las micorrizas alternativa ecológica para una agricultura sostenible-edwinp@ext.upr.edu.cu. P. 2-3.

Peterson, R.L., Massicotte, H.B. and Melville, L.H. (2004). Mycorrhizas: anatomy and cell biology. National Research Council Research Press, Ottawa.

Pimienta R A. (2004). Ácidos húmicos y fúlvicos de origen orgánico en el crecimiento de la plántula de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Plana, R.; González, P. J.; Dell'Amico, J. M.; Fernández, F.; Calderón, A. y Marrero, Y. (2008). Efecto de dos inoculantes micorrízicos arbusculares (base líquida y sólida) en el cultivo del trigo duro (*Triticum durum*). *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 4, p. 35-40. [Consultado: 15 junio del 2012]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=193214911011>.

Preciado R. P, M. Fortis H., J. L. García-Hernández, E. Rueda P., J. R. Esparza R., A. Lara H., M. A. Segura C., y J. Orozco V. (2011). Evaluación de Soluciones Nutritivas Orgánicas En la producción de tomate en invernadero. *Inter ciencia* 36(9): 689-693.

Rivera-Chávez Fabián Heriberto; Gilberto Vázquez-Gálvez; Luz Elena Castillejo Álvarez; M. Valentina Angoa-Pérez; Guadalupe Oyoque-Salcedo y Hortencia Gabriela Mena-Violante Ra Ximhai, (2012). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y extracto acuoso de vermicompost sobre calidad de fresa Vol. 8, Número 3 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 119-130.

Rodríguez DN, Cano RP, Figueroa VU, Favela CE, Moreno RA, Márquez HC, Ochoa ME, Preciado R (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.

Rodríguez, R. Tavares, R. y Medina, (2001). Cultivo moderno del tomate. 2ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España. 255 p.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), (2010). Monografía de cultivos "Jitomate", Subsecretaría de Fomento a los agronegocios. 10 p. Disponible en línea: <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf> (consulta abril 18, 2013).

Salunkhe, D. Kadam, S. (1998). Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage, and processing. Marcel Dekker. New York. 721 p.

Salzer P. & Boller T. (2000). Elicitor induced reactions in mycorrhizae and their suppression. En *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. (Y. Kapulnik & D.D. Douds Jr. Eds.). Kluwer Academic Publishers. : 1-10.

Serralde, A. M. y Ramírez, M. Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas (en línea) Bogotá, Colombia [Consulta 26-12-2002] Disponible en: <<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>>.

Shany, M. (2007). *Tecnología de producción bajo cobertura*. Mashav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. Israel. 69 p.

Shishido, M., Breuil, C. and Chanway, C.P. (1999). Endophytic colonization of spruce by plant growth-promoting rhizobacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* 29:191-196.

Sieverding, E. (1991). Vesicular Arbuscular Mycorrhiza in Tropical Agrosystem. Deutsche Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH, federal Republic of Germany. 371 p.

SIAP, (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre de la Producción Agrícola por Cultivo "Modalidad riego + temporal". SAGARPA, D.F., México. Disponible en línea: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 (consulta febrero 05, 2015).

Smith S.E. y Read D.J. (1998). *Mycorrhizal symbiosis*, San Diego USA, Academic. Press.

Smith, S. y Read, D. (2008). Colonization of roots and anatomy of arbuscular mycorrhiza. London: Academic Press. *Mycorrhizal Symbiosis*, p. 42-90.

Terry, A. E; Leyva, G. (2006). Evaluación agro biológica de la inoculación micorrizas- rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*. 30(1):65-73.

Terry, Z., Terran, M. V y Pino, R. (2002). Biofertilizantes, una alternativa promisoriosa para la producción hortícola en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 23(3):43-46.

Tsavkelova, E. A; Klimova, S. Y; Cherdyntseva, T. A; Netrusov, A. I. (2006). Microbial Producers of Plant Growth Stimulators and Their Practical Use: A Review. *Appl Biochem Microbiol* 42:133-143 p.

Ulrichs, Christian; Fischer, Gerhard; Büttner, Carmen; Mewis, Inga. (2008). Comparison of lycopene, b-carotene and phenolic contents of tomato using conventional and ecological horticultural practices, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) *Agronomía Colombiana*, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. vol. 26, No. 1, pp. 40-46.

Valadéz, L. (1990). Producción de hortalizas. Editorial Limusa. México. 248 p. *Vegetal* (16), Editorial Trillas, D.F., México: 9-53 pp.

Vessey, K. J. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil* 255: 571-586 p.

Wien, H. (1997). The physiology of vegetable crops. CAB International, London, UK. 65 p.

Zeidan, O. (2005). *Tomato production under protected conditions*. Israel: Mashav, Cinadco, Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service.99 p.

VIII. APÉNDICE

Cuadro 8.1. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable diámetro polar del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	1.20975278	0.10997753	2.09	0.0630
Error	24	1.26027778	0.05251157		
Total correcto	35	2.47003057			

Cuadro 8.2. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable diámetro ecuatorial del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	1.08077222	0.09825202	3.14	0.0092
Error	24	0.75115000	0.03129792		
Total correcto	35	1.83192222			

Cuadro 8.3. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable SST (°Brix) del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	4.61298889	0.41936263	70.57	<.0001
Error	24	0.14261111	0.00594213		
Total correcto	35	4.75560000			

Cuadro 8.4. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable pH del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	0.53750000	0.04886364	1.04	0.4431
Error	24	1.12555556	0.04689815		
Total correcto	35	1.66305556			

Cuadro 8.5. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable vitamina "C" del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	3327.102761	302.463887	134.26	<.0001
Error	24	54.066728	2.252780		
Total correcto	35	3381.169489			

Cuadro 8.6. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable licopeno del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	289.6823167	26.3347561	91.15	<.0001
Error	24	6.9341833	0.2889243		
Total correcto	35	296.6165000			

Cuadro 8.7. Análisis de varianza (ANVA) de factorial 3X3, para la variable acides titulable del fruto del cultivo de tomate.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr<F
Tratamiento	11	27.81697500	2.52881591	22.74	<.0001
Error	24	2.66850000	0.11118750		
Total correcto	35	30.48547500			

