

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación del rendimiento y calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con fertilización biológica en invernadero.

Por:

MARBELLA ISELA VÁZQUEZ VELÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México

Diciembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación del rendimiento y calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con fertilización biológica en invernadero.

Por:

MARBELLA ISELA VÁZQUEZ VELÁZQUEZ

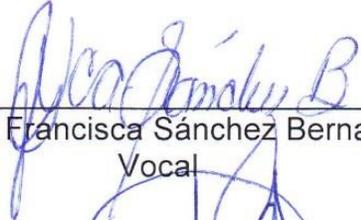
TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Jurado:


Ing. Juan Manuel Nava Santos
Presidente


MC. Francisca Sánchez Bernal
Vocal


Dr. Alfredo Ogaz
Vocal


M.E. Víctor Martínez Cueto
Vocal suplente


Dr. Isaías De la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación del rendimiento y calidad del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con fertilización biológica en invernadero.

Por:

MARBELLA ISELA VÁZQUEZ VELÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

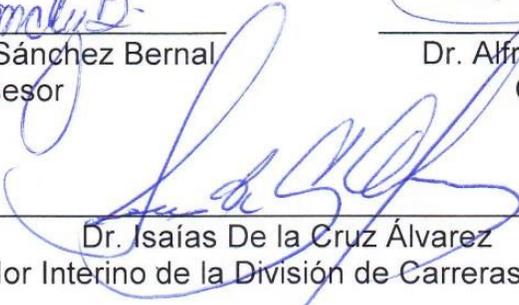
INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Ing. Juan Manuel Nava Santos
Asesor Principal


MC. Francisca Sánchez Bernal
Coasesor


Dr. Alfredo Ogaz
Coasesor


Dr. Isaías De la Cruz Álvarez
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme vida y darme la oportunidad de seguir adelante, por darme fuerza en los momentos que creía no poder continuar, le agradezco infinitamente por su amor, su misericordia, por la familia, los amigos, por un hombre maravilloso que hoy se ha convertido en más que un amigo.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi Alma Terra Mater por abrirme sus puertas y tener la dicha de rodearme de excelentes profesores, que me ayudaron a prepararme profesionalmente y a cumplir uno de mis sueños, y por brindarme la dicha de conocer a grandes amigos.

A mis asesores: **M.C. Francisca Sánchez Bernal, Ing. Juan Manuel Nava Santos, M.E. Víctor Martínez Cueto y Dr. Alfredo Ogaz** les agradezco de todo corazón, por su dedicación, motivación, paciencia y conocimiento, ayudándome a mantener la fe en los momentos complicados, ha sido un privilegio poder contar con su guía.

A mi pareja **Eduardo González Calzada**, desde que nos conocimos siempre me ha brindado su apoyo incondicional, haciendo que las cosas parecieran menos complicadas.

DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a mis abuelos, padres y hermanas (os), por apoyarme en todo momento, jamás hubiese podido alcanzar mis metas, sin su apoyo incondicional, sin su amor y sin su empuje. Cada vez que tropecé en la vida, me animaron a seguir adelante, me ayudaron a ver las cosas como una anécdota y a mis abuelos que siempre confiaban en mí brindándome de su apoyo cuando las cosas parecían turbias y hoy estamos cumpliendo una meta más y sé que desde el cielo festejaran conmigo. Soy dichosa, pues he tenido una familia, que me apoya de manera incondicional, me han inculcado los principales valores, aquellos que nos moldean como mejores seres humanos y nos prepara para la vida. Gracias por todo el apoyo.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto de la fertilización biológica a base de micorrizas arbusculares en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) bajo condiciones de invernadero, se desarrolló esta investigación en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, evaluando diferentes dosis de micorrizas en el cultivo de tomate tipo bola crecimiento indeterminado híbrido (IL 7046 F1). El diseño utilizado fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y diez repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T₁ (100% de micorrizas), T₂ (75% micorrizas), T₃ (50% de micorrizas) y Testigo (Steiner). Se determinó diferencia significativa entre tratamientos para las variables Solidos Solubles Totales (Grados Brix) y número de frutos. Donde sobresalen el T₁ (100% micorrizas) con 6.8 Grados Brix y T₂ (75% de micorrizas) con 6.0 Grados Brix, respectivamente. Mientras que para número de frutos sobresale el T₁ (100% micorrizas), con 8.6 frutos por planta. Para el resto de las variables: altura de planta, ancho y largo de fruto, grosor de pulpa, peso total de frutos por planta, rendimiento, peso fresco de planta, no se determinó diferencia significativa entre tratamientos. El uso de micorrizas en la agricultura protegida puede ser una alternativa viable en la producción de tomate debido a los beneficios que proporciona a la planta, sin embargo es necesario continuar evaluando su efecto, en combinación con sustratos orgánicos.

Palabras clave: Fertilización biológica, Micorrizas, Solución Steiner, Tomate tipo bola.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
RESUMEN	III
ÍNDICE	IV
INDICE DE FIGURAS	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Importancia del cultivo de tomate	3
2.2. Etimología	5
2.3. Origen del cultivo del tomate	6
2.4. Clasificación taxonómica y morfología	7
2.4.1. Sistema radical.....	8
2.4.2. Tallo principal	8
2.4.3. Hojas	8
2.4.4. Inflorescencias	9
2.4.5. Flor	10
2.4.6. Fruto	11
2.5. Crecimiento de la planta	12
2.5.1. Crecimiento indeterminado.	12
2.5.2. Crecimiento determinado.	13
2.6. Aspectos botánicos	13
2.6.1. Inicial.....	13
2.6.2. Vegetativa.	14
2.6.3. Reproductiva.	14
2.7. Requerimientos climáticos y edáficos	14

2.7.1.	Clima	14
2.7.2.	Humedad relativa	15
2.7.3.	Luminosidad	16
2.7.4.	Suelo	17
2.8.	Importancia del tomate en invernadero	18
2.8.1.	Implementación de tecnologías	19
2.9.	Prácticas culturales	19
2.9.1.	Trasplante	19
2.9.2.	Densidad de población	20
2.9.3.	Riego.....	20
2.9.4.	Tutorado	21
2.9.5.	Poda.....	21
2.9.6.	Polinización.....	22
2.9.7.	Cosecha	22
2.10.	Plagas y enfermedades	23
2.10.1.	Plagas.....	23
2.10.1.1.	La Mosquita blanca (<i>Bemisia tabaci</i>).....	23
2.10.1.2.	Los Ácaros (<i>Tetranychus urticae</i>).....	23
2.10.2.	Enfermedades	24
2.10.2.1.	Ahogamiento (<i>Damping off</i>).....	24
2.10.2.2.	Marchitez vascular (<i>Fusarium oxysporum</i>).....	24
2.11.	Sustratos	25
2.12.	Fertilización	26
2.13.	Fertilización biológica	26
2.13.1.	Microorganismos utilizados como fertilizantes biológicos.....	27
2.13.2.	Fertilizantes biológicos en base a microorganismos PGPR	27
2.13.2.1.	Hongos micorríticos	27
2.13.2.2.	Microorganismos solubilizadores de P de vida libre.....	28
2.13.2.3.	Mezcla de microorganismos no definidos	28
2.14.	Concepto micorriza y su importancia	28
2.15.	Descubrimiento de la micorriza	29
2.16.	Micorrizas para mejorar la nutrición vegetal en producción de hortalizas.....	30
2.17.	Interacción micorriza-hortaliza	31

2.18. Distribución de las micorrizas.....	31
2.19. Las micorrizas ¿son benéficas o dañinas?.....	32
2.20. Función de la micorriza.....	33
2.21. El papel de los HMA en la agregación del suelo.....	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. Localización geográfica.....	37
3.2. Localización del experimento.....	37
3.3. Características del invernadero.....	37
3.4. Diseño experimental	37
3.5. Material genético.....	38
3.6. Siembra.....	38
3.7. Llenado de bolsas	38
3.8. Trasplante	38
3.9. Fertilización.....	39
3.10. Manejo de la planta	39
3.10.1. Poda.....	39
3.10.2. Tutorado	39
3.10.3. Deshojado.....	40
3.10.4. Cosecha	40
3.11. Variables evaluadas	41
3.11.1. Largo de fruto	41
3.11.2. Diámetro ecuatorial	41
3.11.3. Grosor del pericarpio.....	41
3.11.4. Número de frutos por planta	41
3.11.5. Peso de fruto	41
3.11.6. Solidos Solubles Totales (Grados Brix)	42
3.11.7. Altura.....	42
3.11.8. Peso fresco	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43

4.1. Altura de planta	43
4.2. Largo fruto	44
4.3. Ancho fruto	45
4.4. Sólidos Solubles Totales	46
4.5. Grosor del pericarpio	48
4.6. Número de frutos	48
4.7. Peso total de frutos por planta	50
4.8. Rendimiento	50
4.9. Peso fresco de planta	51
V. CONCLUSIONES	53
VI. BIBLIOGRAFÍA	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Altura de planta (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	43
Figura 2. Largo de fruto (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	45
Figura 3. Ancho de fruto (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	46
Figura 4. Sólidos solubles totales (grados brix) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	47
Figura 5. Grosor del pericarpio (cm) en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	48
Figura 6. Número de frutos por planta de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	49
Figura 7. Peso promedio en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	50
Figura 8. Rendimiento (kg/ha ⁻¹) en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	51
Figura 9. Peso fresco de planta en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.	52

I. INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes biológicos tiene muchas ventajas respecto a los químicos debido a que no poseen riesgo de contaminación ambiental, su efecto está fuertemente sincronizado con los requerimientos de la planta y generalmente son de menor costo, (García, 2017).

La aplicación de este tipo de rizobacterias ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas, observándose un incremento en la emergencia, vigor, biomasa, desarrollo en sistemas radiculares e incrementos de hasta 30% en la producción de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, jitomate, trigo y soya, entre otros, (Hernández L y Escalona M. 2003).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas mutualistas entre las raíces de las plantas terrestres y ciertos hongos del suelo. Su existencia se conoce desde 1885, pero fueron consideradas curiosidades excepcionales. Hoy se cree que más del 97% de especies vegetales terrestres están micorrizadas, (MYCO-UAL, 2018).

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), es considerada como una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo, por un gran número de subproductos que se obtiene de él, y por las divisas que genera; este fenómeno ha originado la incorporación de vastas extensiones de tierra al cultivo del tomate. La mayor extensión dedicada a este cultivo se encuentra en China. El segundo lugar lo ocupa India. La tercera posición dedicada a cultivar tomate es para Turquía. La cuarta posición es para Nigeria, seguida por Egipto, Irán, Estados Unidos, Camerún, Rusia, apareciendo México en el décimo lugar, (FIRA, 2016).

La tendencia a la baja en la superficie sembrada se deriva del decremento en la superficie cultivada a cielo abierto, mientras que el cultivo en condiciones de agricultura protegida (malla sombra e invernaderos) continúa en expansión constante. Así, el volumen de tomate rojo obtenido con el uso de estas últimas tecnologías pasó del 2.9 por ciento en 2005 a 32.2 por ciento en 2010, y hasta 59.6 por ciento del volumen total en 2015, (FIRA, 2016).

1.1. Objetivo

Evaluar la productividad de tomate tipo bola en invernadero aplicando porcentajes de micorrizas.

1.2. Hipótesis

La aplicación de micorrizas mejora el rendimiento y calidad del tomate bola en invernadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo de tomate

Es importante mencionar que gracias a los altos estándares de producción que presenta el jitomate mexicano, es una de las hortalizas con mayor demanda tanto a nivel nacional como internacional ya que cuenta con un alto grado de calidad e inocuidad que lo hace una de las especies vegetales con más rendimiento y rentabilidad. En el país existen distintas variedades de tomate rojo, entre las más importantes están el jitomate cherry, saladette, tipo pera, bola y bola grande, (Hydro Environment, 2015).

En los últimos años se ha incrementado la producción tomatara en un 50 por ciento, esto debido a que con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas tecnologías y mejorado los métodos para su obtención; inclusive en la actualidad existe una mayor superficie destinada para su siembra, tan sólo en 2010 se ocuparon poco más de 54 mil hectáreas para su cultivo. Asimismo, de acuerdo con datos arrojados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), a lo largo del 2014 México produjo cerca de 2.8 millones de toneladas de jitomate, razón por la cual su producción ocupa el segundo lugar después del cultivo de chile, (Hydro Environment, 2015).

De acuerdo con la información disponible, la superficie cosechada de tomate a nivel mundial creció a una tasa promedio anual de 1.4 por ciento entre 2003 y 2013, para ubicarse en 4.69 millones de hectáreas. ² En tanto, en el mismo período los rendimientos promedio crecieron a un ritmo mayor, de 1.8 por ciento anual, al ubicarse en 35.0 toneladas por hectárea. Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 52.0 por ciento de la superficie destinada al cultivo de tomate en 2013 se concentró en cuatro países: China (20.9 por ciento), India (18.8 por ciento), Turquía (6.6 por ciento) y

Nigeria (5.8 por ciento). México ocupa la décima posición mundial, con el 1.9 por ciento de la superficie cosechada de esta hortaliza, (FIRA, 2016).

En 2013, la producción mundial de tomate se ubicó en un máximo histórico de 163.96 millones de toneladas. La tasa promedio anual de crecimiento de la producción mundial, entre 2003 y 2013, fue de 3.2 por ciento. Lo anterior, impulsado tanto por aumentos en la superficie cosechada, como por incrementos en la productividad promedio. El 62.0 por ciento de la producción mundial en 2013 se concentró en cinco países: China (30.9 por ciento), India (11.2 por ciento), Estados Unidos (7.7 por ciento), Turquía (7.2 por ciento) y Egipto (5.2 por ciento), (FIRA, 2016).

Destaca el dinamismo de la producción de tomate en China e India entre 2003 y 2013. En estos países, el volumen cosechado creció a tasas promedio anuales de 5.8 y 9.1 por ciento, respectivamente. En China, la superficie cosechada creció a una tasa promedio anual de 1.2 por ciento en el período mencionado, mientras que los rendimientos promedio lo hicieron a una tasa promedio anual de 4.6 por ciento. En India, el ritmo de crecimiento fue mayor en la superficie; ésta creció a una tasa promedio anual de 6.3 por ciento, mientras que los rendimientos promedio aumentaron a una tasa promedio anual de 2.7 por ciento. Como resultado, durante una década, la participación en la producción mundial de China e India pasó de 24.0 a 30.9 por ciento para el primer país y de 6.4 a 11.2 por ciento para el segundo, (FIRA, 2016).

La superficie cosechada de tomate en Estados Unidos, el tercer productor mundial, decreció entre 2003 y 2013 a una tasa promedio anual de 1.1 por ciento, mientras que los rendimientos crecieron a una tasa promedio anual de 2.1 por

ciento. Así, en dicho período la participación de este país en la oferta mundial se redujo de 9.6 a 7.7 por ciento, (FIRA, 2016).

Otros importantes productores de tomate son Turquía y Egipto. Entre 2003 y 2013, la oferta de esos países creció a tasas promedio anuales de 1.9 y 1.8 por ciento, respectivamente. La producción en Turquía se ha expandido principalmente debido al aumento en la superficie establecida con este cultivo, mayoritariamente en invernaderos. En ese país, el tomate representa alrededor del 40 por ciento de su producción interna de hortalizas, que junto con los frutales es una de las más competitivas en su principal mercado destino: la Unión Europea. México ocupa el décimo lugar en la producción mundial, con una participación de 2.0 por ciento, (FIRA, 2016).

México es el principal exportador de jitomate fresco a nivel mundial, siendo Estados Unidos, Canadá y algunos países de Europa los principales consumidores; con lo cual las exportaciones ascienden a poco más de 20 mil millones de pesos. El país exporta alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales, que representan entre el 50 y 70 por ciento del volumen total de la producción, (Hydro Environment, 2015).

2.2. Etimología

El nombre proviene de *tomatl*, en la lengua azteca náhuatl. Apareció por primera vez en la impresión en 1595. La palabra *jitomate* procededel náhuatl *xictomatl*; xictli=ombligo, tomohuac=gordura y atl=agua, lo cual el significado de jitomate o xictomatl se podría traducir como ombligo de agua gorda, (Trowbridge, 2017).

2.3. Origen del cultivo del tomate

El origen del género *Lycopersicon* se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile. Probablemente desde allí fue llevado a Centroamérica y México donde se domesticó y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Luego, fue llevado por los conquistadores a Europa. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos y para entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá, (Monardes, *et al.*, 2009).

En su lugar de origen es una planta perenne, y en las zonas no tan cálidas es cultivada como planta anual. La planta es de tipo mata, con un tallo erguido y ramificado (cuando sus frutos engordan llegan a tumbar la planta). Está recubierta en su totalidad por vellosidades, alguna de las cuales son glandulares con sustancias, de olor muy característico, (Banner, 2004).

Los mexicas o aztecas lo conocían como *xTctomatl*, fruto con ombligo. Los Aztecas y otros pueblos de Mesoamérica utilizaban la fruta en su cocina. La fecha exacta de la domesticación es desconocida: se estima en 500 años antes de Cristo ya estaba siendo cultivada en el sur de México y probablemente otras áreas de Mesoamérica, (Lamilla, 2016).

Los mayas y otros pueblos de la región lo utilizaron para su consumo, y se cultivaba en México meridional, y probablemente en otras áreas hacia el siglo XVI. Dentro de las creencias del pueblo, quienes presenciaban la ingestión de semillas

de tomate eran bendecidos con poderes adivinatorios. El tomate grande y grueso, una mutación de una fruta más lisa y más pequeña, fue originado y alentado en la Mesoamérica. (Lamilla, 2016).

2.4. Clasificación taxonómica y morfología

Según Pérez et al (2001) la clasificación taxonómica del tomate es:

Nombre común:	Tomate o jitomate
Reino:	Vegetal
División:	Espermatofita
Subdivisión:	Angiospermas
Clase:	Dicotiledóneas
Orden:	Solanaceae
Subfamilia:	Solanoideae
Tribu:	Solaneae
Género:	<i>Lycopersicon</i>
Especie:	<i>esculentum Mill</i>

La planta de tomate es anual, de porte arbustivo. Se desarrolla de forma rastrera, semierecta o erecta, dependiendo de la variedad. El crecimiento es limitado en las variedades determinadas e ilimitadas en las indeterminadas, (Perez *et al*, 2001).

2.4.1. Sistema radical

El sistema radical alcanza una profundidad de hasta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cultivo, se daña la raíz pivotante y la planta desarrolla resulta en un sistema radical fasciculado, en que dominan raíces adventicias y que se concentran en los primeros 30 cm del perfil, (Giacconi y Escaff., 2004).

2.4.2. Tallo principal

Eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales, (infoAgro, 2018).

2.4.3. Hojas

La forma de las hojas, pinnada compuesta, es muy variable y depende en gran parte de las condiciones ambientales. Su lámina, de seis a 12 pulgadas de largo, está dividida en dos a 12 pares de segmentos o folíolos de diferentes tamaños. Las hojas son dentadas, y frecuentemente rizadas pero también pueden ser lisas. El pecíolo tiene un largo de 1 a 2 ½ pulgadas. Tanto en las hojas como en los tallos jóvenes, hay abundancia de pubescencia. Los pequeños pelos glandulares que aparecen en tallos, hojas y pedúnculos producen un olor característico notable

cuando se pasa la mano sobre éstos, (Fornaris, 2007). Las hojas se disponen de forma alternada sobre el tallo, (Giaconi y Escaff, 2004).

2.4.4. Inflorescencias

La inflorescencia más corriente en la planta de tomate es una cima racimosa que está compuesta usualmente de dos a 12 flores perfectas (hermafroditas), pero algunos cultivares de frutas bien pequeñas pueden producir 30 flores o más. Las inflorescencias brotan opuestas y entre las hojas. En las plantas de los cultivares de crecimiento indeterminado se mantiene de forma continua un patrón de crecimiento donde después de cada tres hojas brota una inflorescencia. En cultivares de crecimiento determinado usualmente las plantas presentan un patrón donde primero brota una inflorescencia después de cada tres hojas, luego cambia a una inflorescencia después de cada dos hojas. Posteriormente brota una inflorescencia después de cada hoja, hasta que se detiene el crecimiento en la rama al brotar en su ápice una inflorescencia terminal, (Fornaris, 2007).

En cada inflorescencia las flores se abren sucesivamente, por lo que se podrían encontrar tanto flores como frutas en diferentes etapas de desarrollo en una misma inflorescencia. La flor tiene un diámetro de alrededor de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Su cáliz verde y persistente está compuesto en la mayoría de los casos de seis lóbulos o segmentos lanceolados (sépalos), pubescentes en el lado externo, (Fornaris, 2007).

2.4.5. Flor

La flor está formada por un pedúnculo corto, el cáliz tiene los sépalos soldados entre sí, al igual que la corola con los pétalos. 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. Las flores son hermafroditas. 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. El estilo es más corto o tan largo como los estambres; posición que favorece considerablemente la autopolinización, (Curtis, 1996).

Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como "racimos". La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas, (Giacconi y Escaff, 2004).

Los pedicelos poseen articulación funcional que actúa como zona de abscisión. El cáliz tiene cinco ó más sépalos lanceolados y fusionados en la base. La corola está formada por cinco o más pétalos de colores amarillos, lanceolados y fusionados en la base. Los sépalos son más pequeños que los pétalos aunque, al ser el cáliz acrescente, alcanzan un mayor tamaño con el desarrollo del fruto. Los estambres, cinco o rara vez seis, están fusionados a la corola por sus filamentos. Poseen anteras largas de color amarillo, conniventes, que forman un tubo en forma de botella en cuyo interior queda encerrado el estilo. Cada antera posee una extensión apical generalmente también fusionadas entre ellas. El pistilo está formado por un ovario compuesto, (Domínguez, 2000).

2.4.6. Fruto

El fruto es una baya ovalada, redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 gr, (SAGARPA, 2010).

La fruta es una baya carnosa, dividida en su interior en dos a 18 lóculos o celdas (cinco a 10 celdas en los cultivares comerciales del tipo de fruta grande). Presenta una variación en tamaño entre cultivares desde ½ hasta seis pulgadas de diámetro. La superficie de la fruta es lisa o lobulada, y brillante al madurar. La fruta bien joven presenta en su superficie una leve vellosidad que luego desaparece. Su forma usualmente es globosa o deprimida en uno de los extremos (oblada), pero existen las de forma casi cuadrada, alargada, ovalada, en forma de pera (piriforme) o variantes de las formas antes mencionadas, (Fornaris, 2007).

Entre los cultivares de tomate se observa variación en el color que desarrolla la fruta al madurar, predominando el rojo, pero algunos cultivares producen frutas de color rosa, anaranjado, amarillo o sin color. El color rojo se debe al pigmento carotenoide licopeno y el color amarillo a otros pigmentos carotenoides. Colores intermedios entre ellos se deben a diferentes proporciones de estos pigmentos en la pulpa (pericarpio), en combinación con el color que adquiere la piel de la fruta. Los tomates rojos tienen pulpa roja y piel amarilla; los tomates rosados también tienen pulpa roja pero su piel es incolora debido a la presencia de un gen recesivo, (Fornaris, 2007).

El pedicelo o tallo pequeño al cual está adherida la fruta usualmente tiene una zona de abscisión, más o menos a mitad de su largo. Muchos de los cultivares desarrollados en los pasados años poseen la característica de que esta zona de abscisión no se desarrolla; estos cultivares son conocidos en inglés como 'jointless'.

Por lo tanto, la fruta puede ser desprendida fácilmente sin parte del pedicelo adherido a ella porque su separación de la planta ocurre en la unión o zona de abscisión entre el cáliz y la fruta. Cuando parte del pedicelo se mantiene adherido a la fruta (variedades 'jointed'), el mismo podría perforar otras frutas durante su manejo y causar pérdidas postcosecha, (Fornaris, 2007).

Las semillas en el tomate fisiológicamente maduro se encuentran rodeadas de un material gelatinoso que normalmente llena las celdas de la fruta. Cada fruta contiene muchas semillas, las cuales son velludas, de forma achatada y ovalada, y de un color crema a marrón claro. La semilla usualmente tiene una longitud de 1/16 a 1/8 pulgada. En cuanto a su peso, una onza de semilla puede contener de 7,000 a 12,000 semillas, (Fornaris, 2007)

La semilla de tomate es aplanada y de forma lenticelar con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm, si se almacena por periodos prolongados se aconseja hacerlo a humedad del 5.5%. Una semilla de calidad deberá tener un porcentaje de germinación arriba del 95%, (Perez; Hurtado, *et al*, 2001).

2.5. Crecimiento de la planta

Por su hábito de crecimiento, las variedades de tomate pueden ser:

2.5.1. Crecimiento indeterminado.

El tallo producido a partir de la penúltima yema empuja a la inflorescencia terminal hacia afuera, de tal manera que el tallo lateral parece continuación del tallo

principal que le dio origen. Estos cultivares son ideales para establecer plantaciones en invernadero, (Perez; Hurtado, *et al*, 2001).

2.5.2. Crecimiento determinado.

Las variedades de crecimiento determinado, tienen forma de arbusto, las ramas laterales son de crecimiento limitado, y la producción se obtiene en un período relativamente corto. Esta característica es muy importante porque permite concentrar la cosecha en un período determinado según sea la necesidad del mercado, (Perez; Hurtado, *et al*, 2001).

2.6. Aspectos botánicos

La fenología del cultivo comprende las etapas que forman su ciclo de vida. Dependiendo de la etapa fenológica de la planta, así son sus demandas nutricionales, necesidades hídricas, susceptibilidad o resistencia a insectos y enfermedades.

En el cultivo del tomate, se observan 3 etapas durante su ciclo de vida:

2.6.1. Inicial.

Comienza con la germinación de la semilla. Se caracteriza por el rápido aumento en la materia seca, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis, (Torres, 2017).

2.6.2. Vegetativa.

Esta etapa se inicia a partir de los 21 días después de la germinación y dura entre 25 a 30 días antes de la floración. Requiere de mayores cantidades de nutrientes para satisfacer las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión, (Torres, 2017).

2.6.3. Reproductiva.

Inicia a partir de la fructificación, dura entre 30 ó 40 días, y se caracteriza porque el crecimiento de la planta se detiene y los frutos extraen los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración, (Torres, 2017).

2.7. Requerimientos climáticos y edáficos

2.7.1. Clima

Aunque se produce en una amplia gama de condiciones de clima y suelo, el tomate prospera mejor en climas secos con temperaturas moderadas. Su rusticidad asociada a nuevas variedades permite su cultivo en condiciones adversas. No obstante, el tomate es una especie de estación cálida, su temperatura óptima de desarrollo varía entre 18 y 30°C, por ello, el cultivo al aire libre se realiza en climas templados, (Torres, 2017).

Temperaturas extremas pueden ocasionar diversos trastornos, ya sea en la maduración, precocidad o color. Temperaturas bajo 10°C afectan la formación de

flores y temperaturas mayores a 35°C pueden afectar la fructificación. Asimismo, la temperatura nocturna puede ser determinante en la producción, ya que, cuando es inferior a 10°C originaría problemas en el desarrollo de la planta y frutos, provocando deformidades, (Torres, 2017).

La sensibilidad de la etapa reproductiva de la flor por encima de la temperatura óptima del aire puede provocar una reducción en el porcentaje de cuaje de los frutos y por lo tanto una reducción en el rendimiento de los frutos durante el crecimiento comercial del tomate, (Harel, Fadida, *et al*, 2014).

Cuando se presentan temperaturas superiores a 32°C se complica la calidad de la polinización. Por tal razón, al final del ciclo cuando vamos pasando del invierno a la temporada de calor los frutos de la parte superior de la planta podrían no contar con los niveles de calidad que demanda el mercado. Es en esta época cuando el fruto se alarga, no llena bien y la consistencia disminuye, (Valerio, 2012).

2.7.2. Humedad relativa

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. En el interior del invernadero el aire es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas. Las plantas tienen que transpirar agua para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento, (Huertas, 2008).

Respecto a la humedad relativa, el desarrollo del tomate requiere que ésta oscile entre 60% y 80%, considerando que humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades fungosas y bacterianas, además, dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta abortando parte de las flores. También está vinculado al agrietamiento de fruto o “rajado”, cuando se presenta un

período de estrés hídrico y luego se produce un exceso de humedad en el suelo por riego abundante, (Torres., 2017).

La humedad juega un papel importante en el funcionamiento de la planta, en especial el déficit de presión de vapor (DPV), grado de apertura de estoma y punto de rocío. El DPV es una medida de la pérdida de agua por la planta. El vapor de agua dentro de la hoja está cerca de saturación y también fuera de la hoja. Sin embargo, removiendo este vapor de agua alrededor de la superficie de la hoja crea una diferencia en concentración y, al igual que todos los gases, el vapor de agua se moverá en la dirección de altos a bajos niveles de saturación. Este proceso del movimiento del vapor de agua: desde las células de las hojas de la planta al aire en el invernadero, alrededor de las hojas, es llamado transpiración. La transpiración es un proceso clave usado para enfriar y distribuir nutrientes en la planta. Los productores pueden usar este principio del DPV para optimizar el ambiente de crecimiento, (Lizárraga, 2014.)

2.7.3. Luminosidad

La luz solar es un pre-requisito para el crecimiento de la planta. El crecimiento es producido por el proceso de fotosíntesis, el cual se da sólo cuando la luz es absorbida por la clorofila (pigmento verde) en las partes verdes de la planta mayormente ubicadas en las hojas, (ERP Agrícola, 2016).

El tomate es un cultivo que no lo afecta el fotoperíodo o largo del día, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas; aunque requiere buena iluminación. Los días soleados y sin interferencia de nubes, estimulan el crecimiento y desarrollo normal del cultivo. Por lo que esperaríamos que en nuestro medio, no se tengan muchos problemas de desarrollo de flores y cuaje de frutos por falta de luz.

En la práctica se ha observado que los distanciamientos de siembra pueden afectar el desarrollo de las primeras flores por falta de luz, principalmente en aquellas variedades que tienden a producir mucha ramificación o crecimiento de chupones laterales, lo cual impide que la luz penetre hasta donde se lleva a cabo el desarrollo de los primeros racimos florales, afectando el cuaje y crecimiento de los frutos. Esta desventaja se puede solucionar haciendo podas de los chupones que crecen por debajo de los primeros racimos florales, o dando más distanciamiento entre plantas, (ERP Agrícola, 2016).

- La poca luminosidad puede incidir negativamente en la floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta.
- En crecimiento, floración e inicio de fructificación se requiere de mayor luminosidad que en maduración.
- A mayor intensidad lumínica mayor crecimiento, o sea la intensidad debe exceder ligeramente el punto de compensación entre fotosíntesis y respiración diariamente que permita la asimilación, (ERP Agrícola, 2016).

2.7.4. Suelo

Las plantas en su ambiente natural tienen que vivir, sin casi ninguna excepción en asociación con el suelo, una asociación conocida como relación suelo-planta. El suelo provee cuatro necesidades básicas de las plantas: agua, nutrientes, oxígeno y soporte. El suelo ideal tiene una buena capacidad de drenaje y una buena estructura física. Las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad de suelo, con 70% de volumen de raíces total en los primeros 20 cm de profundidad, (Tjalling, 2006).

Se considera que un suelo ideal debe de tener las siguientes condiciones: 45% de minerales, 5% de materia orgánica, 25% de agua y 25% de aire o espacio

poroso. El tipo y la cantidad relativa de minerales, más los constituyentes orgánicos del suelo, determinan las propiedades químicas del suelo, (Tjalling, 2006).

Los suelos aptos para cultivar tomate son los de media a mucha fertilidad, profundos y bien drenados, pudiendo ser franco-arenosos, arcillo-arenosos y orgánicos. El pH del suelo tiene que estar dentro de un rango de 5.9-6.5, para tener el mejor aprovechamiento de los fertilizantes que se apliquen, (Tjalling, 2006).

2.8. Importancia del tomate en invernadero

En México el cultivo del tomate es sumamente importante, ya que de los principales cultivos que se producen en condiciones protegidas este ocupa 70%, seguido por pimiento (16%) y pepino (10%). Aunado a esto, México es el principal exportador a nivel internacional, enviando el producto a Estados Unidos de América, Canadá y El Salvador, tan sólo en 2011 se produjeron 1 872 000 toneladas. (Juárez *et al.*, 2015).

Es curioso observar que gracias al cultivo de tomate, México se encuentra en el décimo lugar de productores de todo el mundo con una producción anual de 3 millones de toneladas; por otro lado, el tomate es el tercer producto más exportado en el país y este cultivo convierte a México en el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas al año, es decir, el 50% de la producción total.

Alrededor del 86% de las unidades de producción son inferiores a 0.5 hectáreas; el 11.5%, de 0.51 a 5, y el 2.5% tienen más de 5 hectáreas. Esto indica que la mayor parte de los agricultores tienen unidades muy pequeñas de

producción, lo que limita su acceso a la tecnología, la capacitación y la asistencia técnica, así como a una mayor penetración en los mercados más exigentes.

2.8.1. Implementación de tecnologías

Aunque las cifras son alentadoras, la tecnología de la agricultura protegida en México varía de baja a media y de gama media a alta. Teniendo en cuenta la superficie cultivada, el 79% de los sistemas agrícolas protegidas son de media-alta tecnología, 17% con tecnología media y un 5% con baja tecnología, (Ponce, 2013).

Por ejemplo, los rendimientos de la producción de tomate en invernaderos de baja tecnología es de aproximadamente 120 toneladas por hectárea (t/ha), en rangos de tecnología media de 200 a 250 t/ha, y en la alta tecnología conduce a obtener hasta 600 t/ha. El uso de invernaderos en México está muy extendido, éstos pueden establecerse prácticamente en cualquier parte, puesto que se han diseñado hasta por los enriquecimientos de suelos, (Ponce, 2013).

2.9. Prácticas culturales

2.9.1. Trasplante

Es el paso de la planta desde el semillero al asiento definitivo del cultivo. El riego por goteo estará colocado según el marco, la densidad y la orientación de la plantas. El cultivo en el suelo, previo al trasplante se da un riego abundante (el número de horas necesarias para que la humedad llegue al pasillo) para humedecer el terreno, desplazar las sales y bajar la salinidad del suelo, la cual debe ser menor que la CE del medio de trasplante. Posteriormente se abren los hoyos, se depositan y se fijan las plantas, (Castellanos, 2009).

Debe haber un buen contacto entre el suelo y el cepellón de la plántula. Posteriormente se da un riego de asiento para asegurar un buen contacto entre la humedad del suelo y el cepellón. Puede ayudar la aplicación vía riego o localizado de un enraizador y algún fungicida para la prevención de Damping-off, (Castellanos, 2009).

2.9.2. Densidad de población

En condiciones de invernadero y sin despunte, las densidades comerciales fluctúan de 2 a 2.5 plantas/m²; con 2.27 plantas/m² el tomate produce hasta 24.5 kg de materia fresca por planta, con un rendimiento de fruto de 20.6 kg/planta que equivale a 46.8 kg m⁻² y representa 84 % del crecimiento total obtenido en 288 días después de siembra, (Villegas *et al.*, 2004).

2.9.3. Riego

Las necesidades hídricas de esta planta se presentan en tres periodos críticos: uno durante la emergencia de plántulas, otro al inicio de la floración y uno más durante el llenado de fruto. Si bien, la producción de hortalizas en invernadero es una de las alternativas que se llevan a cabo para alcanzar un uso sustentable del agua, (Segura *et al.*, 2011).

El sobre-riego genera pérdidas económicas por la lixiviación de la solución nutritiva, cambios drásticos en el pH y la conductividad eléctrica (CE) de la solución, saturación de agua en la zona radical del cultivo y reducción de la fotosíntesis; así como fisiopatías por desbalances nutrimentales, activación de microorganismos fitopatógenos y frutos de mala calidad, problemas que están vigentes Actualmente (Yescas *et al.*, 2011).

2.9.4. Tutorado

En consecuencia con el crecimiento de los tallos, estos se van enredando con un hilo de rafia, o bien sujetándolos con clips específicos para esta tarea, los hay en diferentes modelos y precio, (Castellanos, 2009).

Cuando las plantas incrementan su altura en 10 a 20 cm., se ata la rafia. Es fundamental hacerlo con oportunidad, antes de que las plantas se acamen, lo que ocurre de 7 a 10 días después del trasplante. La rafia se sujeta al tallo, ya sea mediante un nudo no corredizo o un anillo de plástico, desarrollando para este fin. Al anudar la rafia al tallo, el ojal debe quedar colgado, para no ligar el tallo, o bien mediante anillos de plástico, todo depende de los costos de los mismos, (Castellanos, 2009).

2.9.5. Poda

La poda es una práctica obligada en variedades de tomate de crecimiento indeterminado. En cada axila de las hojas aparece un brote y puede volver a reaparecer. Los cuales son eliminados en cuanto su tamaño lo permitan, es decir cuando tenga alrededor de 5 cm de largo. Para el caso de planta injertada, cuando se dejan dos tallos por planta, al inicio del cultivo se despunta el tallo principal por encima de las hojas de los cotiledones, para que de las axilas salgan los brotes que serán los tallos principales, (Castellanos, 2009).

En la poda de hojas, se van eliminando todas aquellas inferiores senescentes, por debajo del último racimo que va madurando o pintando color y se deja un racimo adicional descubierto. El corte de la hoja debe ser limpio y al ras del

tallo principal para evitar la entrada de patógenos (*Botrytis*). Evitar la poda severa de hojas para no desequilibrar la planta y causar agotamiento. La poda de hojas debe ser equilibrada, también esta práctica es útil para evitar el rajado de frutos en ciertas variedades. La poda de hojas se puede realizar con tijeras, si se hace de esa manera. Las tijeras deben desinfectarse después de podar cada sección de unos diez metros, o cuando menos cada surco, (Castellanos, 2009).

2.9.6. Polinización

La polinización a través de medios mecánicos es eficiente, siempre y cuando las condiciones de humedad relativa y temperatura sean favorables, para que haya un mayor desprendimiento del polen. El movimiento de las inflorescencias puede ser con métodos variados, pero el que se ha impuesto es el movimiento de la planta con un chorro de aire con máquinas de motor, o golpeando ligeramente el emparrillado para hacer vibrar las plantas. El uso de insectos básicamente concierne a la polinización con abejorros del género *Bombus*, es el que por su rusticidad se ha impuesto. El abejorro visita entre 6 y 10 flores por minuto, de manera que una colmena llega a visitar entre 20 y 50 mil flores diariamente. La vida útil de la colmena va de 8 a 12 semanas (Castellanos, 2009).

2.9.7. Cosecha

Los tomates destinados para el mercado de consumo fresco son cosechados a mano. La mayoría de los tomates son cosechados en el estado de maduración conocido como estrella o rayado (etapa de color 2), aunque algunos pocos son cosechados en el estado cambiante (etapa de color 3), o en estado rosa (etapa de color 4). Los tomates verdes inmaduros, presentan problemas en la maduración, la cual será muy irregular y serán de baja calidad, aunque los tomates cosechados en

la etapa fisiológica de verde maduro, logran madurar adecuadamente, (Castellanos, 2009).

2.10. Plagas y enfermedades

2.10.1. Plagas

2.10.1.1. La Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

Se estima que la familia Aleyrodidae cuenta con más de 1200 especies descritas; las mosquitas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae) son pequeños insectos fitófagos de plantas herbáceas, arbustos, árboles, plantas silvestres y cultivos de importancia económica; en ocasiones se convierten en un serio problema, debido en primera instancia a daños directos provocados al succionar la savia y por la transmisión de virus, (Carapia, y Castillo., 2013).

2.10.1.2. Los Ácaros (*Tetranychus urticae*)

Los ácaros *Tetranychus evansi* y *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae), son considerados plagas limitantes en los cultivos de tomate y de fresa, respectivamente, ocasionando pérdidas hasta del 80% de la producción, debido principalmente a su alto potencial reproductivo. Los daños causados por estos artrópodos son directos, ocasionando secamiento de las hojas, defoliación, disminución en el tamaño y número de frutos, además de inducción a la maduración precoz (Soto *et al.*, 2013).

2.10.2. Enfermedades

2.10.2.1. Ahogamiento (*Damping off*)

La incidencia de enfermedades de la raíz conocidas también como “damping-off” o “dormidera” es favorecida por el sistema de siembra y el deficiente manejo del agua de riego; el primero propicia la acumulación irregular de semilla y de humedad en el suelo mientras que el segundo se caracteriza por la aplicación excesiva de agua que arrastra la semilla dentro de las camas del almácigo y, más importante aún, dispara la epidemia de esta enfermedad, (Velásquez, V. *et al.* 2014).

Las plantas infectadas que no mueren en almácigo pueden no resistir las condiciones adversas de los primeros días del trasplante y morirán en los siguientes días. Para el manejo de la enfermedad los productores recurren a la aplicación de fungicidas y otras sustancias pero no es frecuente el empleo de prácticas culturales que, oportunamente aplicadas ayudan a reducir el daño provocado por estas enfermedades, (Velásquez, V. *et al.* 2014).

2.10.2.2. Marchitez vascular (*Fusarium oxysporum*)

La marchitez vascular producida por *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen es la principal enfermedad que causa problemas en el cultivo, disminuye en un 60% el rendimiento y afecta la calidad del producto. Esta enfermedad, la cual se ha reportado en por lo menos 32 países, prospera en una diversidad de condiciones ambientales desde trópicos secos hasta climas templados. Tres razas del hongo (Fol) se han reportado, las cuales se distinguen por su virulencia en materiales diferenciales de tomate que contienen diferentes genes de resistencia (Ascencio et al., 2008).

2.11. Sustratos

Se entiende por sustrato al material sólido natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radical, que desempeña así un papel de soporte para la planta, pudiendo intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Patrón, 2010).

Es por definición cualquier medio sólido (orgánico, inorgánico o mezcla) que se utilice para cultivar plantas en contenedores (con altura limitada y su base este a presión atmosférica), el cual le proporciona a las plantas las condiciones adecuadas para su desarrollo, además de permitir que la “solución nutritiva” se encuentre disponible para la planta (Patrón, 2010).

Es el material que permite un óptimo desarrollo de las plantas, al darle a la raíz la suficiente aireación, disponibilidad de agua y sanidad (es biológicamente estéril en un inicio y el mantener esta característica depende del manejo del cultivar que en él se desarrolle), así como facilitar la acción y efecto de la solución nutritiva, ya que el sustrato es químicamente inerte. Existe una gran cantidad de sustratos. Entre los más utilizados están los siguientes: arena, grava, tezontle, ladrillo quebrado y/o molido, agrolita, vermiculita, turba vegetal (Peat Moss), aserrín, resinas sintéticas (poliuretano) y cascarilla de arroz, entre otros. Estos materiales se pueden utilizar en forma individual o en mezclas de dos o más de ellos de acuerdo a su compatibilidad y disponibilidad. A continuación se presentan las principales características de algunos de ellos (SAGARPA, 2010).

En la actualidad, existe una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, su elección depende de la especie vegetal a propagar, del tipo de propágulo, de la época de siembra, del sistema de propagación, del costo, de la disponibilidad y de las características propias del sustrato (Beltrán *et al.*, 2016).

2.12. Fertilización

Los fertilizantes orgánicos ejercen un efecto multilateral sobre las propiedades agronómicas de los suelos y, cuando se utilizan correctamente, elevan de manera adecuada la cosecha de los cultivos agrícolas. Por tales razones, se justifica la evaluación de alternativas naturales, tales como residuos de cosecha, estiércol, abonos verdes y composta, para incrementar tanto los rendimientos como los niveles de materia orgánica en el suelo (Vázquez, *et al.*, 2015).

Se necesitan 3, 1, 5, 2.5 y 1 kg de N, P₂O₅, K₂O, Ca y Mg, respectivamente, por tonelada de tomate producida; así, para obtener 100 t·ha⁻¹ se requieren 300 kg de N (Márquez *et al.*, 2006).

2.13. Fertilización biológica

El empleo de fertilizantes biológicos ha crecido ostensiblemente en las últimas dos décadas. Tal utilización masiva surge como resultado de la amplia demanda de materia prima para los procesos productivos y abastecimiento de alimentos en el mundo. Los fertilizantes biológicos actúan como sustitutos de fertilizantes químicos tradicionales, brindan buenos rendimientos en las cosechas, favorecen el crecimiento de frutos sanos, resistentes al ataque de plagas y ofrecen facilidades para su aplicación. Además, los nutrientes esenciales, contenidos en los fertilizantes biológicos, poseen características fisicoquímicas y biológicas apropiadas para el suelo, lo cual implica incrementos de productividad en el sector agrícola global, (Carvajal y Mera., 2010).

2.13.1. Microorganismos utilizados como fertilizantes biológicos

Los microorganismos que se utilizan para la fabricación de fertilizantes biológicos son aquellos que establecen interacciones positivas con las plantas y que son de fácil manejo en condiciones industriales (medios de cultivo baratos, crecimiento rápido, etc.). Dentro de los fertilizantes biológicos se diferencian aquellos producidos con microorganismos que fijan N₂ y los conocidos como PGPR (promotores del crecimiento) que favorecen la nutrición vegetal por otras vías, por ej. solubilización y traslado de P, producción de hormonas de enraizamiento para mayor absorción de nutrientes, control de patógenos, entre otros, (<http://agro.unc.edu.ar>. 2014).

2.13.2. Fertilizantes biológicos en base a microorganismos PGPR

Kloepper definió en 1978 a un tipo de bacteria como PGPR (por sus siglas en inglés, que significan plant growth promoting rhizobacteria, o rizobacteria promotora del crecimiento vegetal), la cual puede ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros microorganismos causantes de enfermedades, (Hernandez y Escalona., 2003).

Los microorganismos PGPR más utilizados en la producción de inoculantes son:

2.13.2.1. Hongos micorrízicos

Son los inoculantes con microorganismos PGPR de efecto más comprobado y reconocido. Sin embargo hay que hacer una clara distinción si están formulados con hongos ectomicorrízicos o endomicorrízicos, debido a las particularidades de cada uno de ellos, (<http://agro.unc.edu.ar>. 2014).

Los inoculantes con ectomicorrizas son relativamente fáciles de producir porque los hongos crecen muy rápidamente en medios de cultivos simples y baratos y porque las esporas son muy fáciles de conservar en cualquier sustrato y envase, (<http://agro.unc.edu.ar>. 2014).

2.13.2.2. Microorganismos solubilizadores de P de vida libre

En algunos lugares del mundo (Canadá y Francia) se están comercializando fertilizantes biológicos formulados con bacterias y hongos solubilizadoras de P de vida libre. En nuestro país es una tecnología todavía muy incipiente y solo algunas fábricas de inoculantes están tratando de incluirlos dentro de sus productos, (<http://agro.unc.edu.ar>. 2014).

2.13.2.3. Mezcla de microorganismos no definidos

Son productos conocidos vulgarmente como biofertilizantes y que se fabrican por enriquecimiento y/o percolado de compost o vermicompost. Por tal motivo poseen una enorme cantidad y tipos de microorganismos no identificados en un medio con alta proporción de compuestos orgánicos. A este tipo de fertilizante se les adjudica una serie de beneficios para las plantas, como control de patógenos, activación del crecimiento radicular, etc. Muchos de estos productos son recomendados para aplicación foliar y en el suelo, (<http://agro.unc.edu.ar>. 2014).

2.14. Concepto micorriza y su importancia

Las micorrizas, consideradas dentro del grupo Hongos, son estructuras especializadas que se establecen en las raíces (son como extensiones de la raíz) y

se asocian con éstas ayudando a la absorción de nutrientes y protegiéndolas contra patógenos, (Canseco y Guerrero, 2014).

En su relación con las plantas, obtienen los carbohidratos y vitaminas que por sí mismas no pueden sintetizar, ya que las plantas lo logran a través de la fotosíntesis y otras reacciones internas, (Canseco y Guerrero, 2014).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos simbióticos que se asocian con las plantas e incrementan su tolerancia al estrés hídrico al modificar las tasas fotosintética y de transpiración, el potencial hídrico de hojas y suelo, la concentración de osmolitos, la eficiencia en el uso de agua y la asimilación de nutrimentos en el hospedero, (Harris, *et al.*, 2009).

Esta asociación puede convertirse en una interacción parasítica cuando es mayor el costo que el beneficio, principalmente en condiciones estresantes porque los fotoasimilados que la planta transfiere al hongo dejan de ser utilizados por la planta para modificar su metabolismo y disminuir los efectos negativos del estrés, (Harris, *et al.*, 2009).

La eficiencia en el uso de la energía y del carbono determina el éxito de la asociación, lo que a su vez depende de las características del hospedero (especie y estado de desarrollo), del huésped (especie y capacidad de adaptación al medio) y de las condiciones ambientales, (Harris, *et al.*, 2009).

2.15. Descubrimiento de la micorriza

En 1831 Vittadini publicó sus observaciones sobre la manera en que diferentes especies de trufas (hongos comestibles de gran importancia económica en Europa, que pertenecen a los géneros *Elaphomyces* y *Tuber*, reino *Fungi*, clase

(*Ascomycetes*), se asociaban con las raíces de algunas especies de encinos (*Quercus sp.*) y otras plantas vasculares. En 1840 Hartig ilustró claramente lo que hoy conocemos como una ectomicorriza, y en 1841 Tulasne y Tulasne describieron cómo las hifas (filamentos tubulares que son la base estructural de los hongos) del hongo *Elaphomyces* se asocian a las pequeñas raíces secundarias de ciertos árboles, envolviéndolas completamente, (Andrade, 2010)

Sin embargo, todas estas observaciones fueron interpretadas como una forma de parasitismo, pues aún no se tenía idea alguna del proceso ni su función. En 1842 Vittadini citó nuevamente esta asociación, pero ahora mencionó que estas pequeñas raíces eran nutridas por las hifas del hongo *Elaphomyces*, (Andrade, 2010).

A principios de la década de 1880, al distinguido patólogo forestal alemán A. B. Frank se le encomendó la difícil tarea de realizar un estudio que lo llevara a encontrar la manera de incrementar la producción de trufas en los bosques de Prusia. Desafortunadamente para quienes gustan de las trufas, el profesor Frank no tuvo éxito en la misión, aunque por otro lado realizó una importante aportación al describir correctamente por primera vez la estructura esencial y el funcionamiento de la interesante relación entre “una especie de hongo y la raíz de un árbol”, la cual denominó mykorrhiza, que en griego significa “hongo-raíz”. Cabe destacar que el hongo asociado no es patógeno; es decir, no causa daño a la raíz, (Andrade, 2010).

2.16. Micorrizas para mejorar la nutrición vegetal en producción de hortalizas

La nutrición vegetal es considerada como el factor más importante que determina el desarrollo óptimo de los cultivos, en especial los de hortalizas, los cuales prefieren suelos con alta fertilidad, (Canseco y Guerrero, 2014).

Con el fin de incrementar la disponibilidad de nutrientes para los cultivos de hortalizas sin emplear un uso excesivo de fertilizantes de origen químico que pudiera

impactar negativamente en el ecosistema, se han desarrollado estrategias orientadas a aportar materia orgánica, las cuales involucran interacciones biológicas de beneficio para el sistema planta-suelo. (Canseco y Guerrero, 2014).

Una de dichas estrategias consiste en el empleo de un grupo de microorganismos llamado “micorrizas,” los cuales contribuyen a la absorción de nutrientes necesarios en las plantas y son parte importante del complejo orgánico del suelo.

2.17. Interacción micorriza-hortaliza

Los efectos que estos microorganismos tienen en la biología de las plantas involucran procesos en la nutrición, así como en el crecimiento y funciones propias en el desarrollo, y esto consecuentemente nos lleva a considerar su uso y el conocimiento de sus propiedades.

Dentro de los nutrientes importantes a considerar en la interacción micorriza-hortaliza, está el fósforo. Una vez establecidas las micorrizas en las raíces de la planta, se produce una mejor funcionalidad de las mismas, mientras que la generación de una extensa red de micelio permite que la raíz explore más extensamente y por supuesto una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes; todo lo anterior repercute en una planta más vigorosa, (Canseco y Guerrero, 2014).

2.18. Distribución de las micorrizas.

Esta asociación se presenta en aproximadamente el 90% de las plantas, por lo que se ubica en todos los ecosistemas del mundo y, por lo tanto, en diferentes

gradientes latitudinales. Además, es importante destacar que existen hongos que pueden encontrarse en varios tipos de suelo y climas, teniendo un patrón de distribución mundial, el cual indica que están, aparentemente, adaptados a diversos hábitats; no obstante, los factores físicos y químicos del suelo pueden restringir su distribución por lo que las asociaciones micorrícicas pueden considerarse cosmopolitas y generalistas, (Read, 1991; Finlay, 2008).

Sin embargo, dependiendo del ambiente y las especies interactuantes, los participantes pueden ser facultativos u obligados (Finlay, 2008). Por ejemplo, en México se han reportado en todos los ecosistemas. Los encontramos desde las dunas en las líneas costeras, hasta ambientes secos, como los desiertos o los muy húmedos como las selvas lluviosas, así como en los bosques de coníferas.

2.19. Las micorrizas ¿son benéficas o dañinas?

En el medio natural, la micorriza no se trata simplemente de una interacción entre la raíz de una planta y una especie de hongo en particular, sino de 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) hongo (s) involucrado (s), y con las condiciones ambientales y edáficas, así como con factores de reconocimiento genético mutuo (Johnson et al., 1997).

Dado que en investigaciones de ecología microbiana en la rizosfera es importante considerar la interacción entre los diferentes microorganismos, especialmente entre aquellos que benefician a las plantas y pueden mejorar la productividad agrícola, se debe incluir a los hongos formadores de micorrizas arbusculares. Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se establecen entre

las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo. Estas simbiosis desempeñan un papel clave en el ciclado de nutrientes en el ecosistema y en la protección de las plantas frente a estreses ambientales, (Franco, 2008).

Actualmente, se considera que los hongos micorrizógenos (HM) fueron cruciales para que las plantas pudieran colonizar el medio terrestre y responder adecuadamente a las condiciones ambientales cambiantes (Smith y Read, 1998).

2.20. Función de la micorriza

La micorriza arbuscular presenta como un mejorador de la nutrición, tanto de plantas como del suelo. Se discuten diferentes roles de la micorriza, tales como: contribución a la absorción de minerales por el aumento de la tasa fotosintética, redistribución del carbón fijado hacia las raíces, aumento en biomasa y diversidad de los microorganismos del suelo, inhibitorios o estimulatorios sobre las bacterias fijadoras de N, las solubilizadoras de P y sobre los patógenos, (Blanco y Salas, 1997).

Una micorriza una vez que se ha depositado dentro en las raíces de la planta, lo que hace luego es crear esa tela de araña en la raíz, de manera que ya no tenemos una rizosfera, si no que una micorrizosfera, por lo que un nutriente inmóvil la planta podrá absorberlo y una planta sin micorrizosfera no podrá ser capaz de hacer aquello, por esa razón que las micorrizas son importantes, pero no solo de manera nutricional son importantes, (Agriculturers, 2015).

Podemos ver un esquema de raíz con el hongo creciendo de forma vertical y como se extienden las hifas a lo largo de la raíz. En el interior de la raíz hay estos arbolitos, que corresponde al lugar de donde se intercambian nutrientes con las

plantas. Las raíces también forman esporas intrarradicales y luego tenemos otros arbolitos externos, que sería en donde las micorrizas captan los nutrientes y los transfieren a la planta, (Agriculturers, 2015).

- Además lo que va hacer las micorrizas es agarrar las partículas de suelo y formará agregados estables. Nunca debemos de olvidar que el suelo está vivo, por lo que si nosotros ocupamos solo un componente muy específico del suelo, estamos perdiendo un montón de otras cosas, tenemos que tener un conjunto de biodiversidad en el suelo, que es lo que realmente hace funcionar a una planta y que la hace funcionar de manera equilibrada, (Agriculturers, 2015).
- Estos arbolitos no hacen ningún daño a la raíz, y lo que hacen es alimentar a la planta donde toma fosforo, nutrientes y agua, lo pasa como en vena y se lo da al interior de la raíz, y lo que le va a dar la raíz son fotostatos para que siga creciendo y aportando de nutrientes el hongo, pero todo de una forma muy equilibrada, donde lo es todo, donde la micorriza es la reina del equilibrio con la planta y con toda la micro biota del suelo, (Agriculturers, 2015).

2.21. El papel de los HMA en la agregación del suelo

Dentro de la diversidad de microorganismos del suelo, los HMA tienen especial importancia en la formación y estabilización de los agregados del suelo. Los hongos son frecuentemente el mayor componente de la biomasa microbiana en los suelos cultivables, el tamaño y la distribución de la población fúngica del suelo está relacionada con la cantidad y calidad de la materia orgánica aportada y los métodos de manejo del suelo empleados. Existen muchas consideraciones teóricas que dan particular importancia a los HMA sobre la agregación del suelo:

- Son muy abundantes y son organismos inocuos.

- A diferencia de los hongos saprofiticos del suelo, los HMA presentan acceso intrarradical directo al carbono de la planta, por lo que no tienen que competir por el carbono de la materia orgánica.
- La forma de crecimiento de las hifas favorece la formación o unión de los agregados del suelo, y la relativa persistencia de las hifas y sus productos (glomalina, etc.), hacen a los HMA importantes estabilizadores de los agregados a largo plazo, (FERTILAB. 2014).

La glomalina, sustancia insoluble producida por los HMA, es un componente abundante de la materia orgánica del suelo y ha sido estrechamente relacionada con la estabilidad de agregados; actúa como agente cementante uniendo las partículas del suelo. Aunque se ha creído que los HMA generalmente son más efectivos en la estabilización de los agregados que otros microorganismos del suelo, muchos estudios han concluido que su contribución primaria a la agregación es a través del enrejado de hifas, uniendo las partículas del suelo, (FERTILAB. 2014).

Las hifas se extienden a través del suelo, su adhesión a la superficie de las partículas resulta en un enrejado físico y la formación de agregados del suelo. Muchos describen el enrejado hifal como una contribución efímera a la estabilidad de los agregados. Otros sugieren que la estabilización de los agregados depende principalmente de microorganismos, debido al efecto combinado del enrejado de las partículas del suelo por las hifas de los HMA y actinomicetos, y la exudación de biopolímeros cementantes, especialmente polisacáridos. De acuerdo con esto, se ha postulado que el enrejado de hifas puede ser subestimado y la contribución fúngica, mediada por polisacáridos, puede jugar un papel primario en la estabilización de los macroagregados, (FERTILAB. 2014).

En el suelo existe una gran diversidad de microorganismos, muchos de los cuales desarrollan actividades beneficiosas para los cultivos agrícolas. Entre estos seres microscópicos destacan unos hongos que colonizan las raíces y establecen así unas relaciones simbióticas con las plantas conocidas como micorrizas. El interés de esta simbiosis radica en sus demostrados efectos en el aporte de nutrientes y agua a las plantas así como en la protección de estas frente a agentes o situaciones (ataque de patógenos, salinidad, sequía, contaminantes...) que causan estrés a los cultivos, lo que repercute en la producción de alimentos sanos, (Barea, *et al.*, 2018).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica

La comarca lagunera se localiza en la parte central de la zona del norte México. Se encuentra ubicada entre las coordenadas 25° 32´ 40´´ Latitud norte 103° 23´ 30´´ Longitud oeste. La altitud de esta región es de 1, 140 msnm, la región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localiza las tres áreas agrícolas, así como las áreas urbanas.

3.2. Localización del experimento

El experimento se estableció en el ciclo otoño-invierno 2017, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna, ubicada en Periférico y carretera Santa Fe km 1.5 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

3.3. Características del invernadero

La investigación se desarrolló en el invernadero número tres ubicado en el departamento de horticultura, cuenta con las siguientes dimensiones: 23 metros de largo, 9 metros de ancho y 4.75 metros de altura, además tiene un piso de grava, con una cubierta plástica transparente calibre 600 mm y una malla sombra de 50%. Para el manejo de una temperatura adecuada en el mismo, se cuenta con dos extractores, una pared húmeda y el control automático de estos aparatos, se utilizó un termostato.

3.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y diez repeticiones (la unidad experimental consistió en una maceta

con una planta). Se utilizó un sustrato que consistió en un porcentaje de 90% arena y 10% perlita para todos los tratamientos evaluados, para el testigo (T4) fue el mismo porcentaje. Los tratamientos se obtuvieron de dos fuentes de fertilización: uno se llevó a cabo con micorrizas (*Rhizophagus intraradices*), a diferentes porcentajes: al tratamiento uno con el porcentaje del cien por ciento que equivale a tres gramos por planta, el segundo tratamiento con el setenta y cinco por ciento equivalente a dos gramos por planta, al tercer tratamiento al cincuenta por ciento (un gramo por planta) y segundo fertilización química Steiner como testigo.

3.5. Material genético

Para el experimento se utilizó el siguiente material, tomate tipo bola, híbrido IL 7046 F1 de porte alto, hábito de crecimiento indeterminado

3.6. Siembra

La siembra se realizó el 15 de julio del 2017 en charolas de unicel de 200 cavidades, el sustrato para la germinación, se utilizó peat moss como sustrato para germinación depositando una semilla por cavidad, la charola se colocó dentro de una bolsa de plástico color negro para conservar la humedad y una temperatura más uniforme; para la germinación de la semilla.

3.7. Llenado de bolsas

Se utilizaron bolsas tipo vivero color negro con capacidad de 18 kg calibre 200, como sustrato se utilizó arena de río, perlita en porcentajes de 90% y 10%.

3.8. Trasplante

El trasplante se llevó a cabo el 18 de agosto de 2017, cuando la planta tenía 2 hojas verdaderas, colocando una planta por maceta.

3.9. Fertilización

La forma de aplicación de Steiner fue de un litro diario por cada repetición desde la fecha 18 de agosto del 2017 hasta el 8 de diciembre del mismo año, siendo un total ciento doce riegos y para los tratamientos uno (cien por ciento de micorrizas), dos con el setenta y cinco por ciento de micorrizas y tres (cincuenta por ciento de micorrizas) fueron aplicaciones cada quince días desde la fecha 18 de agosto del 2017 al 8 de diciembre del mismo año teniendo un total de nueve aplicaciones para cada tratamiento. La forma de aplicación para las micorrizas fue pesar la cantidad correspondiente a cada tratamiento: para el uno tres gramos, dos gramos de micorrizas para el tratamiento dos y finalmente para el tres un gramo, el producto se dispersaba alrededor de la superficie de la maceta a cinco centímetros de la raíz de la planta. Para los tratamientos con micorrizas se le aplicaba un litro de agua diario.

3.10. Manejo de la planta

3.10.1. Poda

La poda se inició a los 28 días (DDT), se eliminaron los brotes laterales, dejando el brote apical de la planta, realizándolo cada semana o cada ocho días la misma práctica. Después de que los frutos alcanzaron su madurez fisiológica se realizó la poda de hojas viejas (en la parte baja de la planta) para estimular el desarrollo de la planta y fruto.

3.10.2. Tutorado

El tutorado se realizó a los 14 días (DDT), es una práctica importante que consistió en colocar rafia desde el tallo de la planta; posteriormente se fue

enredando la rafia en sentido inverso de las manecillas del reloj, de tal manera que la misma pasara por debajo de las hojas, hasta enganchar la misma rafia en un alambre que se encuentra en la parte de arriba, después se hizo un nudo para evitar que deslice la rafia; para mantener la planta erguida evitando que las hojas y los frutos toque el suelo, y así mantener la sanidad de la planta y la calidad de los frutos. Esta práctica se realizaba cada ocho días.

3.10.3. Deshojado

Esta práctica consiste en la eliminación de hojas senescentes y hojas sanas con el objetivo de facilitar la aireación y mejorar la maduración homogénea del fruto, así mismo las hojas enfermas se deben de sacar inmediatamente del invernadero para evitar la presencia de fuentes de inóculo, esta práctica se hace manualmente y con frecuencia.

3.10.4. Cosecha

Se realizaron seis cortes, el primer corte fue el día 13 de noviembre del 2017, para esta fecha los frutos ya tenían entre un 70 a 80 % de maduración, segundo corte 22 de noviembre del 2017, tercer corte 25 de noviembre 2017, cuarto corte 27 de noviembre 2017, el quinto corte el 4 de diciembre 2017, sexto corte 12 de diciembre del 2017.

3.11. Variables evaluadas

3.11.1. Largo de fruto

Para esta variable se utilizó un vernier, midiendo la distancia de polo a polo del fruto, en centímetros (cm).

3.11.2. Diámetro ecuatorial

Para esta variable se colocó el fruto en forma transversal y se utilizó un vernier para obtener el diámetro ecuatorial en centímetros (cm).

3.11.3. Grosor del pericarpio

Para obtener esta variable se partió el fruto por la mitad con el uso de una navaja y usando una regla milimétrica, se registró el grosor o espesor del pericarpio en centímetros (cm).

3.11.4. Número de frutos por planta

Para el número de frutos se hizo un conteo de frutos por planta y por tratamiento en cada fecha de cosecha y al finalizar el último corte se sumó el total de frutos por planta.

3.11.5. Peso de fruto

Se tomó el peso por fruto de las repeticiones elegidas para evaluarse, utilizando en una balanza analítica y registrando el valor en gramos.

3.11.6. Sólidos Solubles Totales (Grados Brix)

Se utilizó un refractómetro para ver la cantidad de azúcares que contenía cada fruto de los tratamientos, para después ser analizados.

3.11.7. Altura

Con ayuda de una cinta métrica se tomó la altura de la planta en centímetros, realizando registros semanales a partir de la cuarta semana después del trasplante, para conocer el crecimiento de la planta.

3.11.8. Peso fresco

El peso fresco se efectuó al terminar la última cosecha, retirando por completo la planta de la maceta dividiendo la planta en; raíz, hoja y tallo, una vez dividido se tomó el peso de cada una de estas partes.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Altura de planta

Para la variable altura de planta, el análisis de varianza no presento diferencia estadística significativa entre tratamientos en las nueve fechas de toma de muestra. Sin embargo numéricamente el que obtuvo una mayor altura fue el tratamiento con 50% de micorrizas con una máxima de 136.12 cm y finalmente el que obtuvo una menor altura fue el testigo (Steiner) con una máxima de 122.25 cm. Como puede observarse en la figura 1.

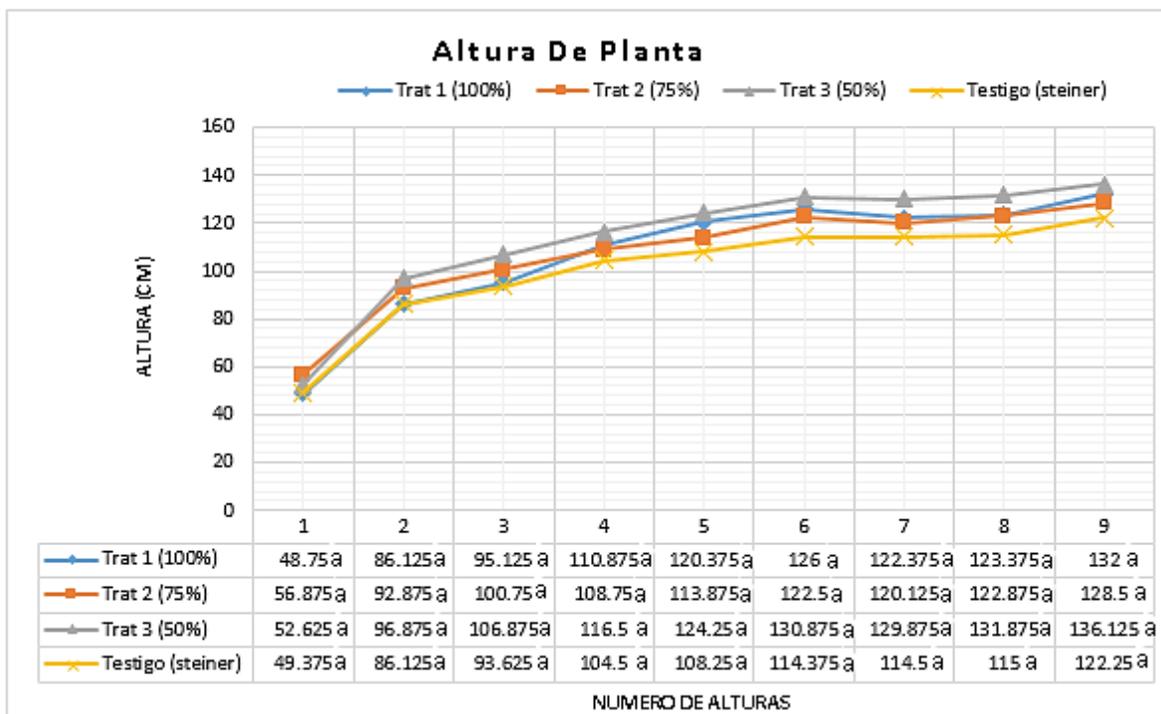


Figura 1 Altura de planta (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

Los resultados obtenidos para esta variable difieren con lo reportado por Alvarado., *et al.*, (2014) quienes con el objetivo de conocer la respuesta de tomate (cv. 'El Cid')

a la inoculación micorrízica en una estructura casa-sombra, trasplantaron las plántulas, inoculadas o no con *Rhizophagus intraradices* en suelo y encontraron que las plantas inoculadas incrementaron significativamente el contenido de clorofila, altura de planta y la colonización micorrízica, comparado con plantas no inoculadas, mientras que en el presente trabajo no se determinó diferencia significativa entre tratamientos para la variable altura de planta.

4.2. Largo fruto

Para esta variable el análisis de varianza no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos, sin embargo numéricamente obtuvo un mayor largo de fruto el testigo (Steiner) con un valor de 3.7 cm y finalmente el que obtuvo un menor tamaño el tratamiento con 50% de micorrizas con un valor de 2.5 cm. Como puede observarse en la figura 2.

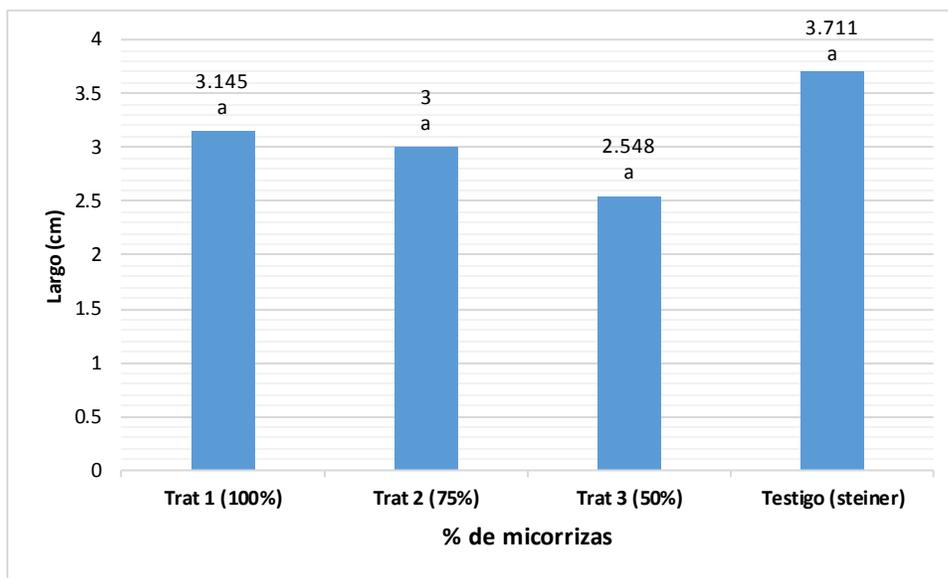


Figura 2. Largo de fruto (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

4.3. Ancho fruto

Para esta variable el análisis de varianza no presento diferencia estadística significativa entre tratamientos mostrando un mismo comportamiento entre ellos. Numéricamente el mayor valor lo obtuvo el testigo (Steiner) con 4.5 cm de ancho de fruto y el menor valor fue para el tratamiento (50% micorrizas) con 3.14 cm. Como se muestra en la figura 3.

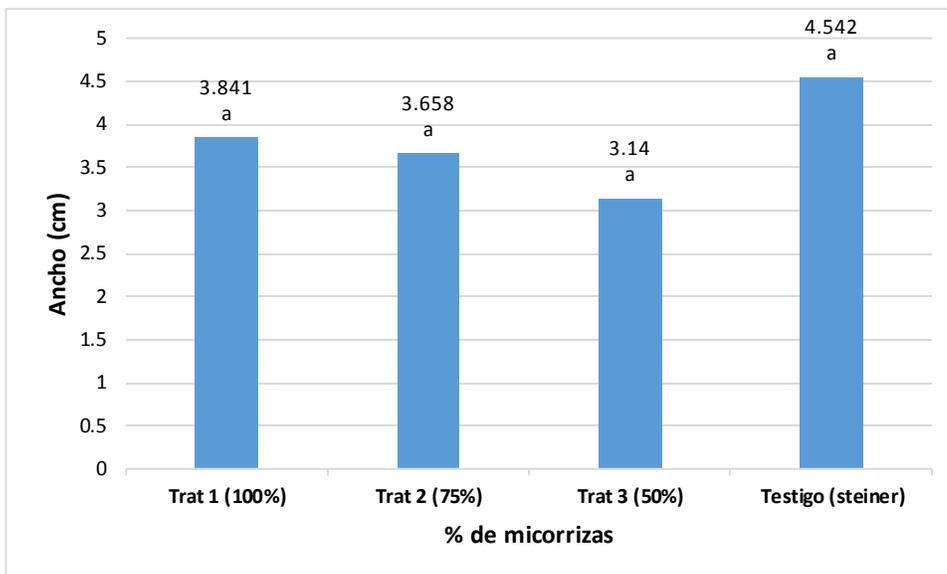


Figura 3. Ancho de fruto (cm) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

Los resultados para las variables largo y ancho del fruto concuerdan con la calidad de exportación premier horticultura (2010), donde los tamaños aceptables para chico son de 2.5-3.4cm; mediano 3.5-4.4 cm; grande 4.5-5.4 cm y para extra grande de 5.5-5.9 cm por fruto, lo que significa que los tratamiento con 75% de micorrizas y 100% de micorrizas pueden entrar dentro de la calidad para tamaño chico, mientras que los frutos del testigo Steiner están dentro de la categoría de grande de 4.5 a 5.4 cm.

4.4. Sólidos Solubles Totales

Para esta variable el análisis de varianza si presento diferencia estadística significativa entre tratamientos el tratamiento que obtuvo una mayor cantidad de Sólidos Solubles Totales fue el testigo (Steiner) con un valor de 8.5 °Brix e igual estadísticamente al tratamiento con el 100% de micorrizas con un valor de 6.87 de Grados Brix y 6.0 Grados Brix para el tratamiento 50% de micorrizas y finalmente el

que obtuvo un menor contenido de Sólidos Solubles Totales fue el tratamiento con 50% de micorrizas con un valor de 5.4 Grados Brix. Como se observa en la figura 4.

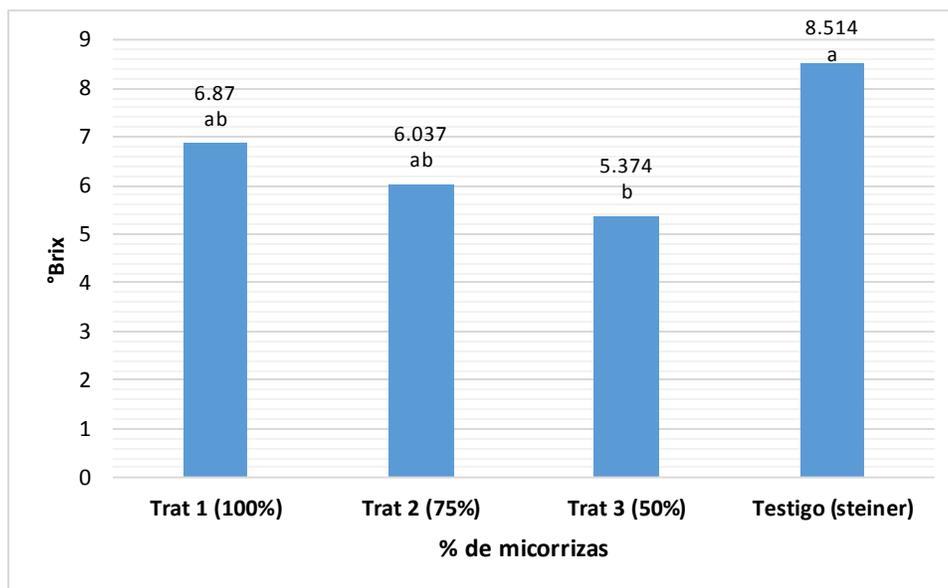


Figura 4. Sólidos Solubles Totales (Grados Brix) de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

Nelson y Nelson (2015) en su trabajo uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate bajo sistema protegido mencionan que la aplicación combinada de los HMA y humus de lombriz, mejoraron la calidad bromatológica de los frutos de tomate con respecto a los parámetros de sólidos solubles totales (Grados Brix) y vitamina C. Los resultados obtenidos en este trabajo para la variable Sólidos Solubles Totales concuerdan con los autores ya que los tratamientos con el 100% y 50% de micorrizas pueden ser similares al testigo (Steiner) en cuanto a la cantidad de azúcares.

MycoUp, (2017) en respuesta a sus ensayos búsqueda de tecnologías innovadoras y sustentables para los agricultores nacionales, menciona que la

aplicación de micorrizas mejora la calidad organoléptica de los frutos, así como la concentración de azúcares, expresada en grados Brix.

4.5. Grosor del pericarpio

Para esta variable el análisis de varianza no presento diferencia estadística significativa entre tratamientos sin embargo numéricamente el que obtuvo un mayor grosor de pulpa fue el testigo (Steiner) con un valor de 0.52 cm y finalmente el que obtuvo un menor grosor del pericarpio fue el tratamiento con 50% de micorrizas con un valor de 0.31 cm. Como se muestra en la figura 5.

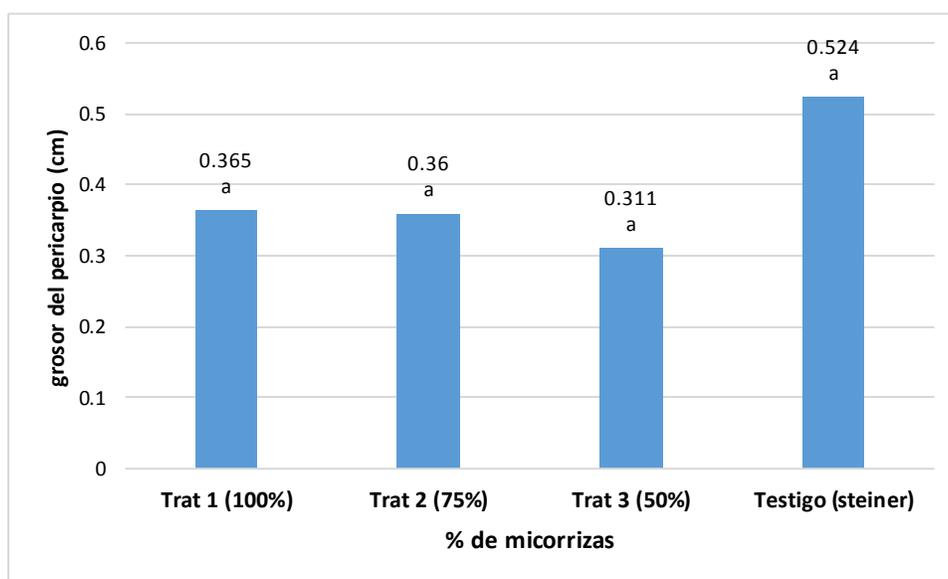


Figura 5. Grosor del pericarpio (cm) en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

4.6. Número de frutos

Para esta variable el análisis de varianza presento diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos obteniendo 10.7 frutos por planta en el

testigo (Steiner) e igual estadísticamente al tratamiento con el 100% de micorrizas con un valor de 8.6 frutos por planta y finalmente para en el tratamiento con 50% de micorrizas un menor número de 5.9 frutos por planta. Como puede observarse en la figura 6.

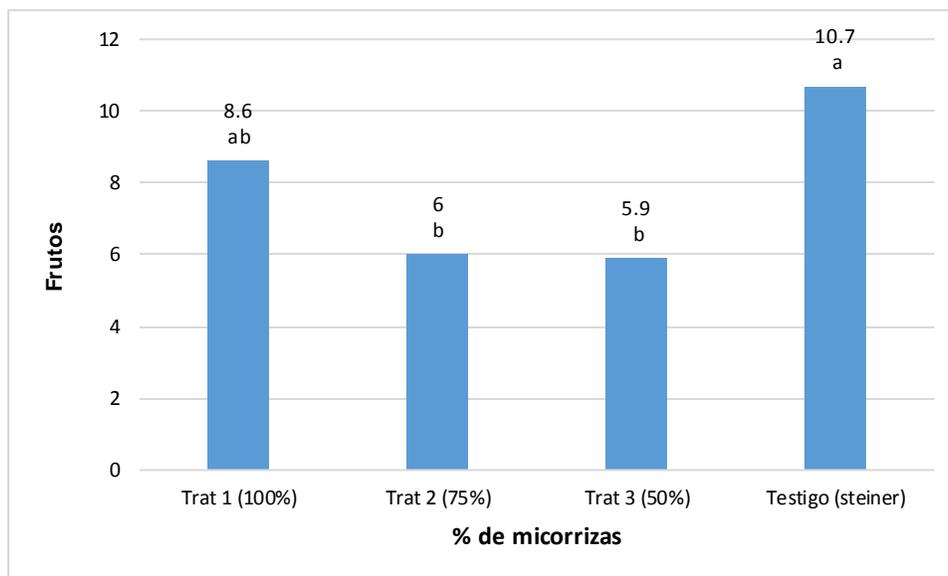


Figura 6. Número de frutos por planta de tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

El hecho de haber alcanzado producciones comparables entre experimentos de micorrizas puras y en mezclas con NPK, hacen notar que las micorrizas son eficientes en poner a disposición de la planta elementos nutricionales que se traducen en buen rendimiento obteniendo, una buena cantidad de frutos, además de formar parte en una producción sana y sostenible, Vera *et al* (2004), para esta variable los resultados concuerdan con los autores, ya que el T₁ (100% de micorrizas) puede igualar en cantidad de frutos al testigo (Steiner).

4.7. Peso total de frutos por planta

Para esta variable el análisis de varianza no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos sin embargo numéricamente el que obtuvo un mayor peso total de frutos por planta fue el testigo (Steiner) con una máxima de 560.7 g y finalmente el que obtuvo un menor peso total de frutos por planta fue el tratamiento con 50% de micorrizas con un valor de 316.8 g. Observar en la figura 7.

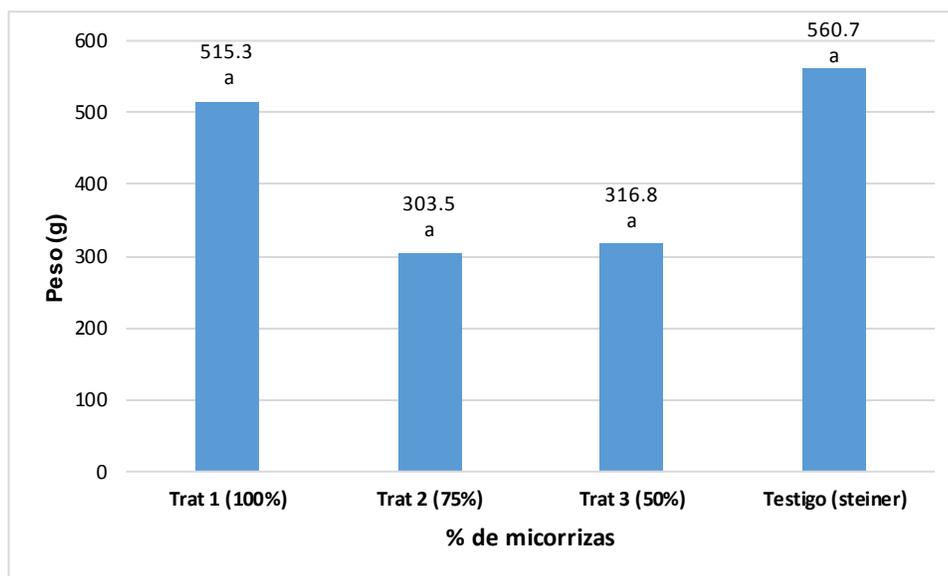


Figura 7. Peso promedio (g) en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

4.8. Rendimiento

Para esta variable el análisis de varianza no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos sin embargo numéricamente los tratamientos que obtuvieron un mayor rendimiento fueron el testigo (Steiner) con una máxima 22,428 (kg/ha⁻¹) y el T1 (100% de micorrizas) con 20,612 (kg/ha⁻¹) y finalmente el que obtuvo un menor peso promedio fue el T3 (50% de micorrizas) con un valor de 12,340 kg/ha. Como se muestra en la figura 8.

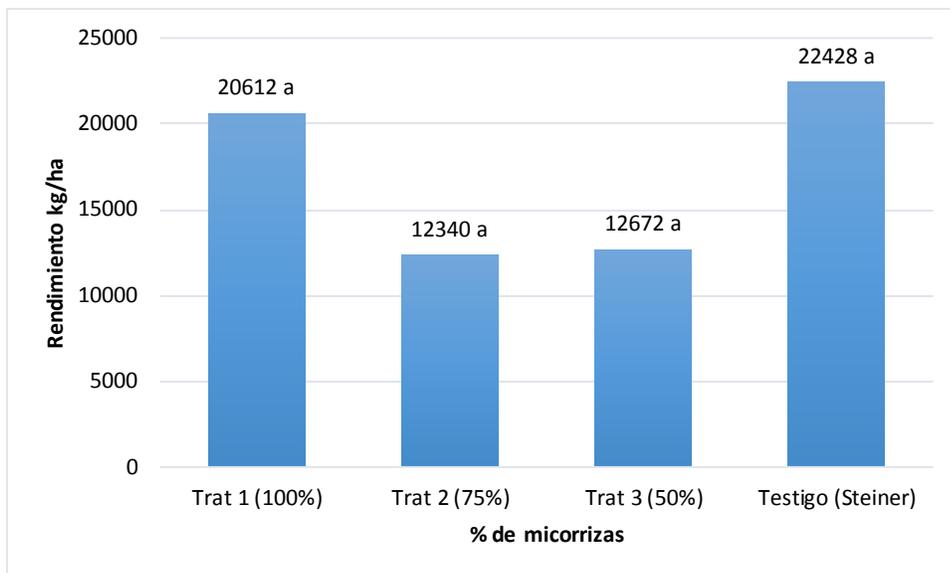


Figura 8. Rendimiento (kg/ha^{-1}) en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

4.9. Peso fresco de planta

Para esta variable el análisis de varianza no presento diferencia estadística significativa entre tratamientos para raíz, hoja, tallo y peso total de la planta.

Para tallo un valor numéricamente mayor fue el T₃ (50% de micorrizas) con un valor de 117 g y un menor peso en el T₁ (100% micorrizas) con un valor de 94.4 g.

El mayor peso en hoja fue en el T₃ (50% de micorrizas) con un valor de 157.8 g y un valor menor de 119.8 g en el T₁ (100% micorrizas).

El peso mayor para raíz fue en el T₁ (100% micorrizas) con un valor de 79 g y un peso menor de 62.6 g en el T₃ (50% de micorrizas).

Finalmente para peso total de la planta el mayor fue en el T₃ (50% de micorrizas) con una máxima de 337.4 g y una mínima de 290.2 g en el T₁ (100% micorrizas). Como se observa en la figura 9.

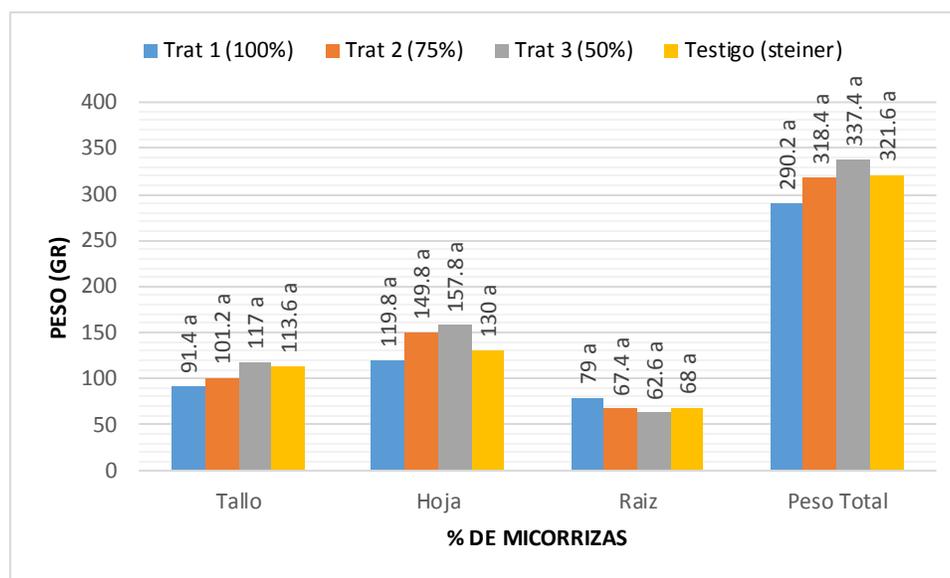


Figura 9. Peso fresco (g) de planta en tomate bola bajo condiciones de invernadero con fertilización biológica. UAAAN UL, 2018.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para esta investigación en rendimiento y calidad del tomate, se determinó diferencia significativa entre tratamientos para las variables Sólidos Solubles Totales (Grados Brix) y número de frutos. Donde sobresalen el T₁ (100% micorrizas) con 6.87 Grados Brix y T₂ (75% de micorrizas) con 6.0 Grados Brix, respectivamente. Mientras que para número de frutos sobresale el T₁ (100% micorrizas), con 8.6 frutos por planta.

Para el resto de las variables: altura de planta, ancho y largo de fruto, grosor de pulpa, peso total de frutos por planta, rendimiento, peso fresco de planta, no se determinó diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo en algunas variables sobresale numéricamente el T₁ (100% micorrizas) y T₃ (50% de micorrizas). El T₁ (100% micorrizas) en peso de raíz con un valor de 79 g. Mientras que el T₃ (50% de micorrizas) en altura de planta con un valor de 136.1 cm, peso de tallo con un valor de 117 g, peso de hoja con 157.8 g, y peso total de planta con un valor de 337.4 g.

El uso de micorrizas en la agricultura protegida puede ser una alternativa viable en la producción de tomate debido a los beneficios que proporciona a la planta, gracias a ella la planta es capaz de explorar más volumen de suelo lo que le permite captar con facilidad elementos como el fósforo y el nitrógeno, estimulan el crecimiento aéreo, se obtiene mejor producción y protección a la planta.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Agriculturers red de especialistas en agricultura. 2015. Micorrizas en la agricultura: usos y beneficios. Disponible en: <http://agriculturers.com/micorrizas-la-agricultura-usos-beneficios-parte-1/>. Consultado en: abril 2018.
- Agriculturers red de especialistas en agricultura. El tomate ocupa en el mundo casi cinco millones de hectáreas. Octubre de 2014. <http://agriculturers.com/el-tomate-ocupa-en-el-mundo-casi-cinco-millones-de-hectareas/>. Consultado en marzo de 2018.
- Alvarado, M., Díaz, A y Peña, M. 2014. Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas. Volumen 5. No. 3 Texcoco.
- Andrade T. A., 2010. Micorrizas. Antigua interacción entre plantas y hongos. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada (INBIOTECA) de la Universidad Veracruzana. Pp: 89.
- Ascencio, Á. A., López, B. A., Borrego, E. F., Rodríguez H., S. A., Flores., O. A., Jiménez, D. F., y Gámez V., A. J. 2008. Marchitez vascular del tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México, Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Texcoco, México, vol. 26, núm. 2, pp. 114-120.
- Banner. 2004. Tomate. Tips para tu hortaliza. Morelos. 5 p.
- Barea, J. M, Pozo, M. J., Azcón, A. C. 2018. Significado y aplicación de las micorrizas en agricultura. Estación Experimental del Zaidín, CSIC, Departamento de Microbiología del Suelo, Prof. Granada. Pp: 746-750.
- Beltrán M., F. A., García H., J.L., Ruiz E., F.H., Valdez C., R. D., Preciado, R. P., Fortis, H. M., y González, Z. A. 2016. Efecto de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) Universidad Juárez Autónoma

de Tabasco Villahermosa, México, Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, vol. 3, núm. 7, pp. 143-149.

Blanco, A y Salas, E. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. Costa Rica. Pp: 1-5 articulo

Canseco V. E. P, Guerrero R. J. C. 2014. Micorrizas para mejorar la nutrición vegetal en producción de hortalizas.

Carapia, R. V y Castillo, G. A. 2013. Estudio comparativo sobre la morfología de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (hemiptera: Aleyrodidae). Instituto de ecología, A.C. Xalapa, México. Vol 29. Pp. 178-193.

Carvajal, J. M., y Mera, A. B. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. Vol.5, No.2. Colombia. Pp: 78-80.

Castellanos, Z. J. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Primera reimpresión julio de 2011, impreso en México, pp.34-42. Editado por: intagri, S.C.

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

Dominguez E. 2000. Mejora genética de la fertilidad del polen de tomate a bajas temperaturas: aprovechamiento de la selección gametofítica. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

ERP Agrícola. 2016. 4 Requerimientos Básicos para el Cultivo de Tomate en Invernadero. Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/4-requerimientos-basicos-para-el-cultivo-de-tomate-en-invernadero/>. Consultado abril 2018.

FERTILAB. 2014. Actividad de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) sobre la estructura del suelo. Fertilidad de Suelos S. de R.L. disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/Actividad-De-Los-Hongos-Micorrizicos-Arbusculares-Sobre-La-Estructura-Del-Suelo.php>, consultado en: abril del 2018.

- Finlay R.D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of Experimental Botany*, 59:1115-1126.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). Panorama Agroalimentario. 2016. Tomate. Producción mundial. Pp: 3-20
- Fornaris Guillermo J. 2007. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA. Universidad de Puerto Rico. Pp: 2-10
- Franco, M. 2008. Evaluación de caracteres PGPR en Actinomicetos e interacciones de estas Rizobacterias con Hongos formadores de micorrizas. Granada España. Pp: 1-3
- García, S. D. 2017. Micorrizas, los Biofertilizantes del Futuro que Vienen del Pasado. Serie Nutrición Vegetal Núm. 90. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.
- Giaconi M, V. y Escaff G., M. 2004. Cultivo de hortalizas. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. XV ed. 337 p.
- Harel D, Fadida H, Alik S, Gantz S. y Shilo K. 2014. El Efecto de la Temperatura Media Diaria y la Humedad Relativa con relación al Polen, el Cuaje de los Frutos y el Rendimiento del Tomate en Cultivos Comerciales Protegidos. 5 p.
- Harris, V. C., Esqueda, M., Valenzuela, S. E. M., Castellanos. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de Sonora. Pp: 267-270.
- Hernández, L. y Escalona, M. 2003. Microorganismos que benefician a las plantas: las bacterias PGPR. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. Vol XVI.
- Fertilizantes biológicos. Unidad IX. Disponible en: <http://agro.unc.edu.ar/~microbiologia/wp-content/uploads/2014/04/unidad-9-Fertilizantes-biologicos.pdf>. Consultado: septiembre 2017.

- Huertas L. 2008. Horticultura. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. Revista. Pp: 52-54.
- Hydro Environment. 2015. Importancia del cultivo de jitomate en México. Disponible en: http://hidroponia.mx/importancia-del-cultivo-de-jitomate-en-mexico/?fb_comment_id=947516638620970_1142926269080005#f325f641755caf. Consultado en abril 2018.
- infoAgro. El cultivo del tomate. Disponible en: www.infoagro.com/hortalizas/tomate.htm. Consultado, marzo 2018.
- 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.
- Juárez, M. A., de Alba, R. K., Zermeño, G. A., Ramírez H., y Benavides, M. A. 2015. Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México, vol. 6, núm. 5, pp. 943-954.
- Lamilla, B. Erick A. 2016. Taxonomía Del Tomate.
- Lizárraga J. R. 2014. Aspectos de manejo agroclimático en tomate de invernadero. El clima, factor que maximiza la producción del cultivo Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Artículo.
- Márquez, H. C., Cano, R. P., Chew M., Y. I., Moreno, R. A., y Rodríguez, D. N. 2006. Sustratos en la producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero, vol. 12, núm. 2, Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México, pp. 183-188.
- Monardes, M., Escalona, C., Alvarado, V., Urbina, Z., Martin B., 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Facultad de cs. Agronomicas universidad de Chile
- MYCO-UAL. Universidad de Almería. Micorrizas. Disponible en: <https://w3.ual.es/GruposInv/mycoual/micorr.htm>. Consultado abril 2018.
- MycoUp. 2017. MycoUp: innovadora tecnología de hongos formadores de micorrizas

- Nelson J. C y Nelson J. M. A. 2015. Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. Vol.36, n.1, pp.55-64. ISSN 0258-5936.
- Patrón, I. J. C. 2010. Sustratos Orgánicos: Elaboración, manejo y principales usos. Colegio de posgraduados, Texcoco, México. Fecha de consulta: 1 Octubre de 2016.
- Pérez, J., Hurtado G., Aparicio V., Quirino A., Larín, M. A. 2001. Cultivo de tomate. GENERALIDADES, ASPECTOS BOTÁNICOS. Salvador. Pp:7-12
- Ponce, C. P. 2013. Producción de tomates en invernadero en México. Artículo. Premier horticultura (2010). Disponible en: http://www.mexicocalidadsuprema.org/assets/galeria/PC_020_2005_Tomate.pdf. Fecha de consulta: noviembre 2018.
- Read D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems *Experientia*, 47:376-391.
- SAGARPA. 2010. Hidroponía rustica. Subsecretaria de desarrollo rural, dirección general de apoyos para el desarrollo rural, pag-5, (fecha de consulta: abril 2018). Disponible en: sagarpa.gob.mx
- SAGARPA. Agosto 2010. Monografía de cultivos. Jitomate. Con información de la Confederación de Asociaciones Agrícolas del Estado de Sinaloa (CAADES). Pp: 2-8
- Segura C., Miguel Á., Ramírez S., A.R., García, L. G., Preciado, R. P., García H., J. L., Yescas, C. P., Fortis, H.M., Orozco V., J. A., y Montemayor T., J. A. 2011. Desarrollo de plantas de tomate en un sustrato de arena-pómez con tres diferentes frecuencias de riego, vol. 17, núm. 1, Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México, pp. 25-31.
- Smith S.E. y Read D.J. 1998. *Micorrhizal symbiosis*, San diego USA, Academic. Press.
- Soto, G.A., Pallini, A., y Venzon. 2013. Madelaine eficacia del caldo sulfocálcico en el control de los ácaros *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard Y *Tetranychus urticae*

Koch (Acari: tetranychidae), Universidad de Caldas Manizales, Colombi, núm. 37, pp. 63-73

Tjalling H. H. 2006. Guía de manejo Nutrición Vegetal de Especialidad. Tomate. Noruega. Pp: 17-19.

Torres, A.P. 2017. Manual de cultivo del tomate al aire libre. IMPORTANCIA Y CONSIDERACIONES DEL CULTIVO DEL TOMATE. BOLETÍN INIA / N° 11. Santiago. Pp: 11-18.

Trowbridge F. 2017. Tomato History. The history of tomatoes as food.

Valerio M. 2012. Impacto de temperaturas extremas en el tomate. Clima. México.

Vázquez, V.P., García L., M. Z., Navarro C., M.C., y García, H. D. 2015. Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*lycopersicon esculentum mill.*) en invernadero, vol. XIX, núm. 36, Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México, pp. 1351

Velásquez, V. R., Reveles, H. M. y Reveles, T. L. R. 2014. Manejo de enfermedades de los almácigos tradicionales de chile para secado en Zacatecas. Folleto Técnico. Núm 54. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 28 páginas.

Vera, A., Vernal, G., Carrera, G., Salcedo., 2004. evaluación de dinámica eficiente de las endomicorrizas nativas en el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Pp: 8-9.

Villegas C., J.R., González H., V.A., Carrillo S., J.A., Manuel Livera, M.M., Sánchez del C.F., y Osuna, E.T. 2004. Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a densidades de población en dos sistemas de producción, 4, Rev. Fitotec. Mex. Vol. 27, Pag.-334.

Yescas, C. P., Segura C., M.A., Orozco V., J.A., Enríquez, S.M., Sánchez, S., J.L., Frías R., J. E., Montemayor T., J. A., y Preciado, R. P. 2011. Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate, vol. 29, núm. 4, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, pp. 441-448.