

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Influencia de los hongos micorrízicos arbúsculares en el desarrollo de plántulas de
jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:

Estefanía de la Cruz Álvarez

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Influencia de los hongos micorrízicos arbúsculares en el desarrollo de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:


Estefanía de la Cruz Álvarez

TESIS

Que se somete a la consideración de H. jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

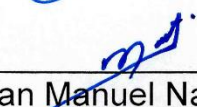
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

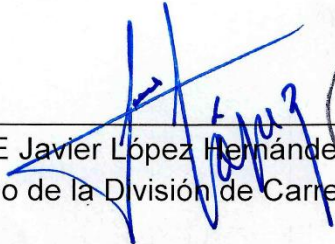
Aprobada por:


M.C. Francisca Sánchez Bernal
Presidente


M.C. Genoveva Hernández Zamudio
Vocal


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Vocal


MD. Juan Manuel Nava Santos
Vocal Suplente


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México

Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Influencia de los hongos micorrízicos arbúsculares en el desarrollo de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Por:


Estefanía de la Cruz Álvarez

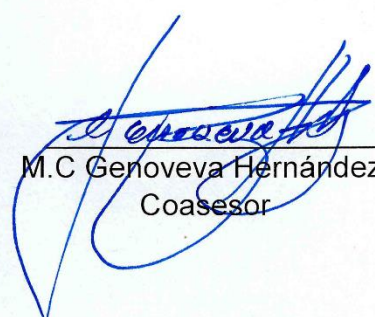
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


M.C. Francisca Sánchez Bernal
Asesor principal


M.C. Genoveva Hernández Zamudio
Coasesor


Dr. José Rafael Paredes Jácome
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras Agrícolas



Torreón, Coahuila, México

Junio 2024

AGRADECIMIENTOS

A *Dios*:

Por guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, por darme una buena vida, talento, felicidad, dándome motivos para salir adelante y cumplir todos mis proyectos.

A mis *Asesores*:

Agradezco a la Ing. Francisca, a la Bióloga Genoveva y al Dr. Rafael por brindarme sus conocimientos para realizar mi proceso de titulación y por darme el apoyo, tiempo y dedicación. Les deseo todo lo mejor.

A mis *Amigos*:

Elizabeth, Alba Isabel y Alberto; mis amigos, que día con día entregaron de su tiempo y esfuerzo por estar conmigo y llevar a cabo la práctica de este proyecto de investigación, por darme su apoyo incondicional y por ser las personas que marcaron mi corazón en mi vida universitaria.

A mis *Padres*:

Mi Madre María Guadalupe y mi padre Alejandro por ser las personas que confiaron en mí y por darme todo su apoyo día con día. por entregar de su tiempo para salir adelante con mis estudios.

A mis *Hermanos*:

Alejandro y Daniela por estar al pendiente de mí por ser la hermana pequeña, por entregarme amor, tiempo, confianza, los quiero muchísimo.

Al Ing. *Luis Martin*:

Por ser la persona que siempre está para darme todos los ánimos, por darme su apoyo y amor incondicional y por ser una persona que me inspiro para darle fin a este proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres:

María Guadalupe Álvarez

Alejandro De la Cruz

Por ser las personas que siempre está al pendiente de mí, dándome la bendición cada día de su vida, mostrándome su cariño incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones, por ser mi inspiración y por darme todo el apoyo para terminar mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 HIPOTESIS	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen e historia del jitomate	4
2.2 Importancia del cultivo de jitomate	4
2.2.1 Producción Nacional	5
2.2.2 Producción Mundial	6
2.3 Características del cultivo de jitomate	7
2.3.1 Plántula	7
2.3.2 Calidad de plántula	8
2.3.3 Características de calidad de plántula	8
2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de jitomate	9
2.5 Clasificación taxonómica del jitomate	9
2.6.1 Suelo	10
2.6.2 Climáticos (Temperatura y Humedad Relativa)	10
2.6.3 Riego	11
2.6.4 Nutrición	11
2.7 Plagas y enfermedades en el cultivo de jitomate	12
2.7.1 Principales plagas	12
2.7.2 Principales enfermedades	13
2.8 Biofertilizantes	14

2.8.1 Tipos de biofertilizantes	15
2.8.2 Hongos micorrízicos arbusculares.....	15
2.8.2.1 Género Glomus	16
2.8.2.2 Modo de acción	17
2.8.3 Ventajas y desventajas de biofertilizantes.....	18
2.8.4 Inoculación con biofertilizantes.....	18
2.8.4.2 Formas de inoculación de biofertilizantes	19
2.8.4.3 Cantidades de inóculo aplicadas en la agricultura	19
3. MATERIALES Y METODOS	21
3.1 Ubicación del experimento.....	21
3.2 Material vegetal y mezcla de sustrato	21
3.3 Material microbiológico e inoculación	23
3.4 Sistema de riego.....	23
3.5 Descripción de los tratamientos	24
3.6 Variables agronómicas evaluadas	24
3.7 Variables microbiológicas	26
3.8 Análisis estadístico	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1 Área foliar.....	28
4.2 Área radicular	30
4.3 Longitud de planta	31
4.4 Longitud de tallo	32
4.5 Longitud de raíz.....	33
4.6 Diámetro del tallo	34
4.7 Materia seca.....	36
4.8 Porcentaje de Hifas	37
4.9 Porcentaje de Arbusculos	39
4.10 Esporas y vesículas.....	40
5. CONCLUSIONES.....	41
6. RECOMENDACIONES.....	42
7. LITERATURA CITADA.....	43
8. ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de nutrientes para el cultivo de jitomate.	12
Tabla 2. Principales plagas del cultivo de jitomate.	12
Tabla 3. Principales enfermedades del cultivo de jitomate.	13
Tabla 4. Descripción de los tratamientos del proyecto de investigación.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción Nacional de jitomate	5
Figura 2. Producción Mundial de jitomate	6
Figura 3. Autoclave de precisión a vapor caliente "Geo-Lab" Mod. CV-300	22
Figura 4. Semilla de jitomate híbrido "Misión".....	22
Figura 5. Material microbiológico a base de Hongos Micorrízicos Arbusculares.....	23
Figura 6. Estufa marca "Felisa" utilizada para la obtención de materia seca en plántulas de jitomate	25
Figura 7. Influencia en área foliar (cm ²) de plántulas de jitomate inoculadas con HMA	28
Figura 8. Imágenes de plántulas evaluadas con los tratamientos, A: (T1-2 g HMA), B: (T2-3 g HMA), C: (T3- 4 g HMA), D: (T4- 5 g HMA) y E: (T0: Sin inoculo)	29
Figura 9. Influencia en área radicular (cm ²), en plántulas de jitomate inoculadas con HMA	30
Figura 10. Influencia en longitud de plántula (cm) de jitomate inoculadas con HMA.....	31
Figura 11. Plántulas utilizadas para evaluar longitud de planta (cm) correspondiente al tratamiento 1, inoculado con 2 g de HMA	32
Figura 12. Influencia en longitud de tallo (cm) de plántulas de jitomate inoculadas con HMA	33
Figura 13. Plántulas con mayor longitud de tallo por la aplicación de T ₃ : 4 g HMA.....	33
Figura 14. Influencia en longitud de raíz (cm) en plántulas de jitomate inoculadas con HMA	34
Figura 15. Influencia en diámetro de tallo (mm) en plántulas de jitomate inoculadas con HMA	35
Figura 16. Plántulas con mayor diámetro de tallo (mm) por efecto de la inoculación de HMA en el desarrollo de plántulas de jitomate	36
Figura 17. Influencia en materia seca de plántulas de jitomate inoculadas con HMA	36
Figura 18. Influencia en porcentaje de hifas, en plántulas de jitomate inoculadas con HMA	37
Figura 19. Estructuras fúngicas (HMA) en raíz de plántula de jitomate, observada a 10x en microscopio óptico	38
Figura 20. Influencia en porcentaje de arbusculos en plántula de jitomate inoculadas con HMA	39

RESUMEN

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos rizosféricos simbióticos que pueden contribuir a la fertilidad del suelo. El cultivo de jitomate tiene una gran demanda en muchos países, por ello es importante la investigación de los biofertilizantes con el fin de mejorar la producción. En este proyecto se determinó el efecto de la inoculación de HMA en el crecimiento de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). Se evaluó el desarrollo de plántulas de jitomate con diferentes cantidades (g) de HMA producidas en charolas de poliestireno, con el objetivo de tener plántulas mejor calidad. Se observó en los resultados que los tratamientos presentaron efectos positivos en las variables agronómicas, donde los tratamientos 2 y 3 con (3 y 4 g de HMA respectivamente) aplicados al momento de la siembra de las semillas, tuvieron un efecto positivo en las variables de Área Radicular, Longitud de Planta, Longitud de Tallo, Longitud de Raíz y Materia Seca. Referente a la presencia de estructuras fúngicas el T₁ (2 g HMA) y T₃ (4 g de HMA) sobresalen entre los tratamientos con una buena respuesta en las variables de Porcentaje de Hifas; para la variable Porcentaje de arbusculos, se obtuvieron mejores resultados con el Tratamiento 3. Respecto a esporas y vesículas no se lograron detectar estas estructuras al observar al microscopio.

Palabras clave: Endomicorrizas, Biofertilizantes, Plántulas, Raíces, Sustratos

1. INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum L.*), corresponde a la familia Solanácea. Es una planta herbácea anual, bianual, de origen centro y sudamericano. Actualmente es cosmopolita, cultivada para consumo fresco e industrializado (Inders, 2021). Los jitomates se utilizan como ingrediente principal en la elaboración de una amplia gama de productos para la alimentación, que incluyen puré, polvos secos, jugos, salsas y kétchup. Sin embargo, las cáscaras y las semillas son las partes de la fruta menos utilizadas. (Kumar et al., 2022).

El jitomate es una hortaliza con gran demanda, a nivel mundial y su producción crece día con día (Juárez, 2019). Al momento de su producción en México de esta hortaliza, nos revela una cosecha de 2 millones de toneladas anualmente, también nos concierne que en dicho cultivo se generan aproximadamente en 70 mil hectáreas de tierra tales como: el Saladette, Bola (Steak), Cherry en Racimo y algunos otros ejemplares y/o variedades como el Mimi y el Campari son los que más se cosechan. Estas variedades se cultivan tanto al aire libre como en invernaderos, y son altamente valoradas por su versatilidad culinaria y su popularidad en el mercado nacional e internacional (Martínez et al., 2012).

Menciona Cotrina, (2018) que la problemática para enriquecer los huertos urbanos, áreas verdes, etc., es por la falta de nutrientes que existe en el suelo. Por ello esta hortaliza requiere de grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio. Es necesario aplicarlos en dosis no superiores a los requerimientos del cultivo, pueden causar un bajo aprovechamiento, contaminación de los suelos y de los mantos acuíferos, así como la eutrofización de aguas superficiales (Arias Mota et al., 2019).

Existe un creciente uso de productos biológicos como los hongos micorrízicos arbusculares. (HMA), Varias investigaciones se dirigen a los beneficios que los HMA aportan a la productividad agrícola, con un gran número de estudios demuestran la influencia positiva en diferentes cultivos como gramíneas, raíces, tubérculos y hortalizas varios resultados apuntan a la efectividad de las inoculaciones mixtas con

inoculantes micorrízicos y otros bioestimulantes. (Carrillo-Sosa et al., 2022).

En varios entornos agrícolas y naturales, las plantas y los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) tienen una relación simbiótica destacada. (Mujica, 2012). La simbiosis entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las plantas anfitrionas promueve un crecimiento vegetal más robusto y una mejor absorción de nutrientes minerales. (Alvarado et al., 2014). Los HMA también crean vesículas, que son depósitos de nutrientes ricos en lípidos ubicados en la corteza de las raíces de las plantas. Estas vesículas actúan como almacenes de nutrientes esenciales para el hongo. (Gómez et al., 2007).

Se han realizado estudios con HMA en plantas de jitomate donde las efectividades al inocular con dichos microorganismos incrementan el diámetro, longitud de tallo, tamaño radicular y biomasa total de la planta, esto superando el 50% en plantas que no tienen algún microorganismo (Becerra, 2022).

Conforme a lo descrito, el objetivo del siguiente proyecto de investigación es determinar si es efectivo o no los HMA aplicándolos desde la siembra en charola, observando resultados en el crecimiento de plántulas de jitomate, con la finalidad de contar con mejores técnicas de producción en plántulas para la agricultura y así el consumo de jitomate mejorará la calidad de vida al proporcionar nutrientes esenciales y mejorar la alimentación.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de plántulas de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*)

1.1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar variables agronómicas y el porcentaje de materia seca de la plántula de jitomate (*Solanum lycopersicum L.*)

Cuantificar la presencia de estructuras fúngicas de las raíces, inoculadas por micorrizas arbusculares en plántula de tomate. (*Solanum lycopersicum L.*)

1.2 HIPOTESIS

Debido a que los hongos micorrizicos arbusculares aportan macro y micro nutrientes a la planta, la inoculación de estos en las plántulas de jitomate afectara positivamente en las variables agronómicas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen e historia del jitomate

En la antigüedad, el jitomate se cultivaba en milpas (campo abierto) y chinampas (islas artificiales para la agricultura de ribera) con métodos sostenibles. (Saavedra, 2016). Los mexicanos fueron los primeros en construir chinampas en el siglo XIII, para aumentar la tierra cultivable en el valle de México (González & Torres, 2014). Los colonizadores españoles mostraron el tomate al resto del mundo y diversificaron sus usos. En el México independiente, las haciendas y los ferrocarriles integraron las diferentes regiones agrícolas. La producción disminuyó durante la revolución mexicana y con la reforma agraria volvió la milpa. Durante la Revolución Verde (1970) destacó Sinaloa, con la separación de dos sistemas, de subsistencia, y moderno con programas tecnológicos (Saavedra, 2016).

La gran cantidad de plantas que crecen en las chinampas se siembran primero comoplántulas. El jitomate rojo se cultivó en la época seca por su sensibilidad a la humedad y al final de la cosecha. La misma área se utilizó para la siembra de jitomate de cáscara en asociación con chile para reducir plagas y la rotación de cultivos con legumbres (Long, 2013).

2.2 Importancia del cultivo de jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), es una de las hortalizas que por su demanda se produce e industrializa en todo el mundo y de mayor valor económico. La producción y comercio del cultivo de jitomate cuentan con promedios anuales sobrepasando los 152,956,115 t lo cual fue referido en diferentes informes (Terry et al., 2017).

El jitomate no solo se comercializa en el mercado de productos frescos, sino que también se incrementa para industria del procesamiento de sopas, como pasta, concentrado, jugo y ketchup. Es una fuente increíble de nutrientes importantes como

el licopeno, el β -caroteno y la vitamina C, que tienen un impacto positivo en la salud humana. Su producción y consumo aumenta con el crecimiento de la población (Bergougnoux, 2014). El jitomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una verdura de importancia mundial reconocida por sus beneficios positivos para la salud, la mayor parte de la producción de hortalizas, específicamente el tomate requiere una cantidad significativa de insumos agronómicos. (Cammarano et al., 2020)

2.2.1 Producción Nacional

México celebra anualmente el “Día del Tomate”, el cual es considerado un cultivo de gran valor social y económico. Según SIAP de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación el cultivo del tomate genera empleos directos y empleos indirectos. La superficie sembrada en 2021 fue de 48,042 hectáreas, y se obtuvo una producción de 3 millones 324 mil toneladas, ocupando el 9° lugar de producción en el ranking mundial (SIAP 2022).

A nivel nacional el estado de Sinaloa aporta el 42.4%, (Figura 1) Baja California 7.7%, Jalisco 6.6%, Zacatecas 6.1%, San Luis Potosí 5.9%, Michoacán 5.3%, Baja California Sur 4.9% y Sonora con 4%. (Martínez-Ruiz et al., 2016).

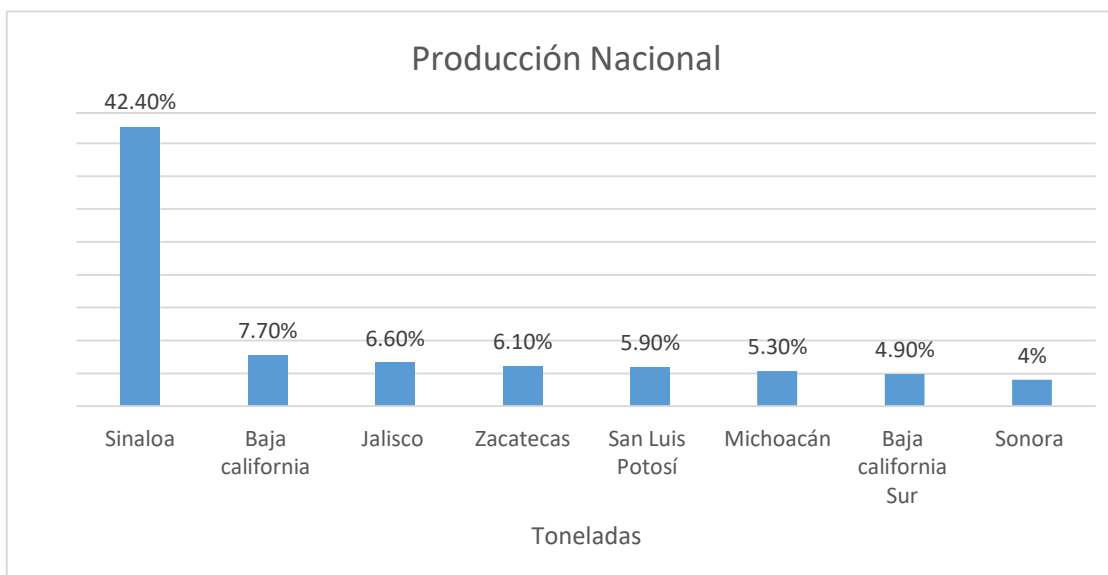


Figura 1. Producción Nacional de jitomate

La producción nacional se concentra principalmente en los estados del norte del país: Sinaloa, Baja California y Zacatecas, a través del tiempo Sinaloa ha sido el principal productor, en 2016 produjo 924 153 toneladas, lo que representó 20.2 % del valor de la producción (Gómez et al., 2023).

2.2.2 Producción Mundial

En los últimos años, la producción global de tomates ha experimentado un notable incremento, llegando a alcanzar un total de 180.7 millones de toneladas en 2019. Este aumento ha sido especialmente notable en países clave como China, la Unión Europea, India, Estados Unidos y Turquía, los cuales en conjunto representaron aproximadamente el 71 % de la producción mundial (FAOSTAT, 2021).

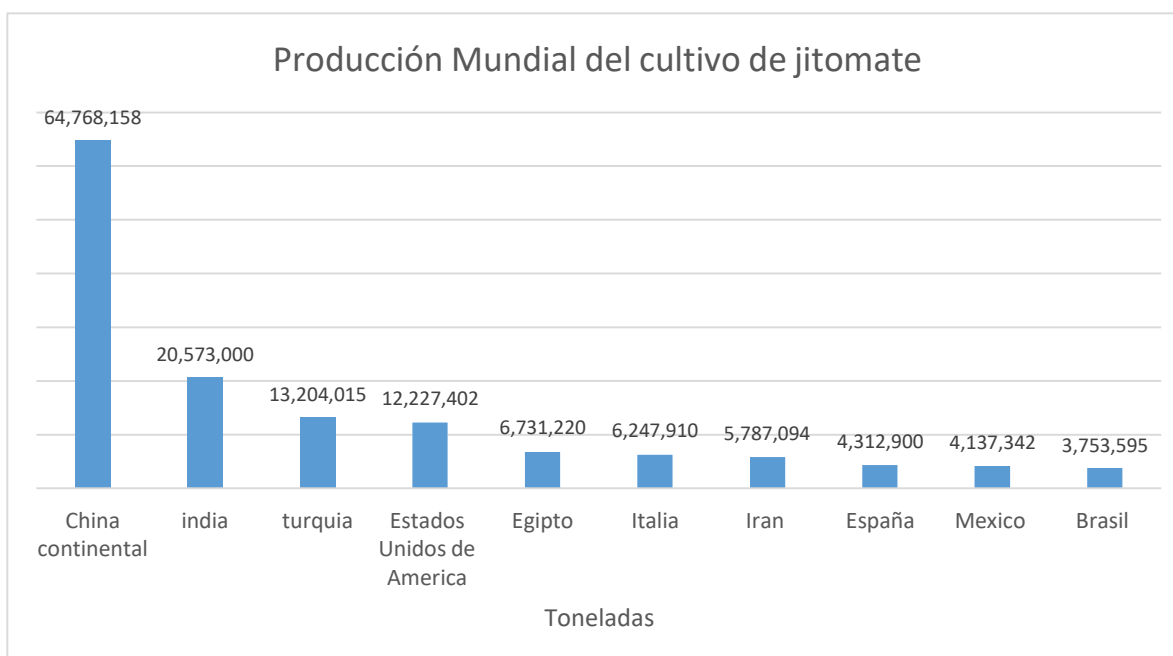


Figura 2. Producción Mundial de jitomate

En el año 2020, China lideró la producción mundial de tomates con un impacto total de 64,768,158 toneladas, lo que representó el 34.7% del total global. Le siguen de cerca India, con una producción de 20,573,000 toneladas, equivalente al 11.0%, y Turquía con 13,204,015 toneladas, que constituyeron el 7.1% del total. Estas tres naciones en conjunto aportaron un significativo 52.7% de toda la producción mundial de tomates ese año. (FAOSTAT, 2021).

2.3 Características del cultivo de jitomate

El jitomate está asociado a la familia Solanaceae, es considerada una planta dicotiledónea y herbácea perenne (López, 2017). Las variedades de jitomate se dividen en dos grupos según el patrón de crecimiento. Por un lado, están las variedades de crecimiento determinado, que tienen tallos que finalizan en un ramillete floral, indicando que han alcanzado su punto máximo de crecimiento. Por otro lado, están las variedades de crecimiento indeterminado, cuyo ápice, ubicado en la parte extrema del tallo, sigue creciendo de manera indefinida. (Guzmán et al., 2017).

2.3.1 Plántula

El logro de una producción exitosa de plántulas depende de diversos factores, siendo dos de los más críticos el tipo de sustrato utilizado para su crecimiento y la calidad de la nutrición que se suministre a la planta durante su desarrollo (Lazcano-Bello et al., 2021).

El sustrato empleado en la producción de plántulas desempeña cuatro funciones clave: primero, proporciona la cantidad adecuada de agua tanto a las semillas como a las plántulas en crecimiento; segundo, suministra los nutrientes esenciales para un desarrollo óptimo; tercero, facilita un intercambio gaseoso eficiente entre la atmósfera y el sustrato; y cuarto, actúa como un soporte físico fundamental para sostener el crecimiento de la plántula (Berrospe-Ochoa et al., 2012).

2.3.2 Calidad de plántula

La calidad de plántulas es una etapa crucial en el cultivo de muchas hortalizas y específicamente en el cultivo de jitomate. Durante la fase inicial, la planta experimenta un crecimiento limitado tanto foliar como radical. Sin embargo, la calidad de las plántulas está determinada en gran medida por una adecuada conducción y manipulación (Gustavo-González et al., 2021).

Para garantizar el éxito en la producción de plántulas de jitomate se debe tener en cuenta en primer lugar, la calidad de las semillas, luego, el manejo adecuado de las plántulas en la etapa de vivero, y los sustratos disponibles. Dentro de este contexto, uno de los factores determinantes para producir plántulas de calidad es el manejo adecuado de los sustratos. (Gutiérrez, 2019). Las composiciones fisicoquímicas de los sustratos son fundamentales para la producción de plántulas ya que influyen en el crecimiento y desarrollo de estas (Lazcano-Bello et al., 2021).

2.3.3 Características de calidad de plántula

Según Lazcano-Bello et al., (2021) el desarrollo de las dos primeras hojas verdaderas en plántulas de jitomate requiere aproximadamente entre 13 y 14 días después de la siembra. En su estudio, observaron que las plántulas de jitomate alcanzaron alturas que oscilaron entre 12 y 17 cm cuando se cultivaron en diversos sustratos, incluido el peat moss.

El grosor de tallo es una señal clave que indica el estado vigoroso de una plántula ya que esta relacionado directamente a la acumulación de fotosintatos (Parra-Terraza et al., 2010). En el estudio realizado por Lazcano-Bello et al., (2021) las plántulas cultivadas en sustratos de peat moss y tezontle exhibieron un grosor de tallo de aproximadamente 2.7 mm.

Lazcano-Bello et al., (2021) mencionan que el número de hojas de las plántulas es un factor importante ya que indica su calidad. Se considera óptimo que las plántulas de tomate tengan entre 6 y 7 hojas al momento de ser trasplantadas. El número de hojas y el área foliar son determinantes en la capacidad de las plantas

para capturar luz solar y CO₂. Estos factores influyen en la eficiencia del proceso fotosintético de compuestos esenciales para el desarrollo de la plántula (Sánchez et al., 2006)

2.4 Calidad nutracéutica del cultivo de jitomate

La calidad, se refiere a la capacidad del fruto para cumplir con los atributos sensoriales y fisiológicos deseados. Esto incluye aspectos como el sabor, la textura, el color, la firmeza y la composición nutricional, entre otros (Martínez et al., 2012). En México el jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una opción en la dieta diaria debido a su abundancia en una variedad de nutrientes esenciales. Entre ellos se encuentran el potasio, el ácido fólico, el beta-caroteno, la vitamina C, la vitamina E, los flavonoides y el licopeno. Estos componentes lo convierten en una valiosa fuente de antioxidantes, que son útiles para combatir el estrés oxidativo en el cuerpo. (Zavala, 2019).

El tamaño influye en las expectativas de su calidad comercial. se espera que debe ser redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada, dependiendo del tipo. Además, tener un color uniforme que vaya de anaranjado a rojo intenso, sin hombros verdes. La apariencia debe ser lisa y con cicatrices pequeñas correspondientes a la punta floral y al pedúnculo (Martínez et al., 2012).

2.5 Clasificación taxonómica del jitomate

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae.

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*. (Hidalgo, 2019).

2.6 Requerimientos edafoclimáticos en siembra

2.6.1 Suelo

La planta de jitomate es resistente y puede adaptarse a diversas condiciones de suelo, pero es fundamental que el suelo tenga un buen drenaje. Es importante que el suelo contenga un alto contenido de materia orgánica, siendo recomendable que sea por encima del 3%. (Hidalgo, 2019). El pH óptimo del suelo para el cultivo de tomate debe situarse entre 6 y 6,5, lo que proporciona un entorno adecuado para el desarrollo de la planta y la disponibilidad de nutrientes. Los suelos pueden variar desde ligeramente ácidos hasta ligeramente a medianamente alcalinos. Por lo tanto, es factible encontrar cultivos de tomate que prosperen en suelos con un pH de 8 (Guzmán et al., 2017). Es favorable que los suelos oscilen entre los 15 y 25 grados centígrados, esto promueve un establecimiento del cultivo. (Hidalgo, 2019).

2.6.2 Climáticos (Temperatura y Humedad Relativa)

El jitomate se desarrolla con mejor calidad en climas secos con temperaturas razonables entre los 18° y 30°. Por ello, Temperaturas por debajo de los 10°C pueden interferir con la formación de flores, mientras que temperaturas superiores a los 35°C pueden afectar la producción de frutos. De igual manera, la temperatura durante la noche puede tener un papel crucial en la producción, ya que, si desciende por debajo de los 10°C, puede ocasionar dificultades en el desarrollo de las plantas y los frutos, dando lugar a deformidades. (Guzmán et al., 2017). La variación favorable de la temperatura diaria puede beneficiar diversos procesos fisiológicos, como la germinación, el alargamiento de los tallos, la floración, la fructificación y la maduración temprana (Hidalgo, 2019).

para un adecuado desarrollo del tomate, la humedad relativa debe mantenerse entre el 60% y el 80% de oscilación. Cuando la humedad relativa es muy alta, aumenta el riesgo de enfermedades causadas por hongos y bacterias, lo que también puede dificultar la fecundación debido a que el polen se compacta,

resultando el aborto de algunas flores (Guzmán et al., 2017).

2.6.3 Riego

Los niveles hídricos necesarios varían según diversos factores, siendo el clima y la demanda de agua específica de cada tipo de planta y su etapa de crecimiento los más relevantes. Esto garantiza que el sistema de raíces permanezca adecuadamente hidratado, adaptándose a las condiciones climáticas, el ciclo de vida de la planta y las propiedades del suelo (Mossande et al., 2015).

Una variedad de técnicas y herramientas empleadas en la agricultura al aire libre han sido incorporadas, perfeccionadas y ajustadas para su aplicación en sistemas de cultivo bajo invernadero. Por ejemplo, se ha adoptado el riego por goteo de alta frecuencia, junto con la modificación de los sustratos y sistemas de soporte para las plantas. (Flores, 2007).

2.6.4 Nutrición

El cultivo de tomate en invernadero es fundamental ajustar y supervisar la solución nutritiva de acuerdo con las condiciones específicas para evitar desequilibrios nutricionales que puedan impactar la producción y la calidad de la cosecha. Este proceso busca mantener un equilibrio adecuado de nutrientes en el suelo. Se suministran calcio y fósforo, los cuales son clave para el desarrollo de las raíces de la planta. El calcio se incorpora al suelo a través del material de encalado.

El cultivo de jitomate demanda una cantidad significativa de nutrientes esenciales, tanto macronutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), así como micronutrientes, incluyendo hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B) y zinc (Zn). Es importante tener en cuenta que un exceso de nitrógeno puede reducir la proporción de fructificación. En la tabla 1 se detallan las cantidades de fertilizantes requeridas para el cultivo de tomate.

Tabla 1. Cantidad de nutrientes para el cultivo de jitomate.

Nutriente	N	P2O5	K2O	Ca	MgO	S
Unidad	Kg/ton					
Cantidad	2,8	0,4	5,4	3,9	1,2	1

2.7 Plagas y enfermedades en el cultivo de jitomate

2.7.1 Principales plagas

El cultivo de jitomate es un objetivo para varios insectos y ácaros. Las plagas pueden variar de un país a otro, incluso entre regiones. Sin embargo, los agricultores necesitan atacar a las principales plagas que causan más daño en la planta (Tabla 2).

Tabla 2. Principales plagas del cultivo de jitomate.

PLAGAS	DAÑOS
Polilla del tomate <i>(Lepidóptera; Gelechiidae).</i>	Corresponde a una de las principales plagas del tomate. (Godoy et al.,2018). Esta plaga es capaz de provocar pérdidas del 100% en el cultivo si no se adoptan medidas para su control, ya que sus larvas se alimentan vorazmente de hojas, tallos y frutos. (Hernández, 2013).
Mosquita blanca <i>(Hemiptera; Aleyrodidae)</i>	Succiona la savia de las plantas durante toda su vida, inyecta toxinas a través de la saliva provocando amarillamiento y manchas cloróticas, produce daños indirectos por la mielecilla en sus excretas desarrollando fumagina. (Galeana, 2015). Ha sido considerada la plaga clave del cultivo del tomate por su capacidad para transmitir el “virus de la cuchara” (Mollá, 2013).

<p>Pulgón (<i>Aphididae spp.</i>)</p>	<p>Forma colonias y se alimenta succionando la savia de los tejidos, así como también son vectores de enfermedades virales. (Galeana, 2015).</p>
<p>Araña roja (<i>Tetranychus spp.</i>)</p>	<p>Produce daños directos en hojas jóvenes, alimentándose de las partes verdes de la planta, ocasionando daño producido por los estiletes y la reabsorción del contenido celular. Este daño va acompañado de una decoloración más o menos intensa de los tejidos (Galeana, 2015).</p>

2.7.2 Principales enfermedades

El cultivo de jitomate es una hortaliza con mayor demanda en algunos de los países, por eso, Es importante prevenir las enfermedades que atacan al cultivo. Los agricultores deben de detectar y evitar ya que existen enfermedades que pueden afectar en el cultivo, entre las más destacadas se muestran en el cuadro 3.

Tabla 3. Principales enfermedades del cultivo de jitomate.

ENFERMEDADES	DAÑOS
<p>Virus de la cuchara o virus del rizado (<i>Geminiviridae: Begomovirus</i>)</p>	<p>El virus del rizo de la hoja amarilla del tomate (TYLCV), es transmitido por la mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i>, es la enfermedad viral más devastadora que que se presenta en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Gómez et al., 2022).</p>
<p>Podredumbre gris (<i>Botrytis cinerea</i>)</p>	<p>Hace lesiones pardas en hojas y flores, podredumbre blanda en frutos con crecimiento gris de micelio (Galeana, 2015).</p>

<p>El Mildiu (<i>Phytophthora infestans</i>).</p>	<p>Manchado irregular aceitoso y necrosis en hojas, afecta también frutos inmaduros exhibiendo grandes manchas pardas, vítreas de superficie y contorno irregular. (Galeana, 2015).</p>
<p>El Marchitamiento vascular (<i>Fusarium oxysporum</i>).</p>	<p>Los daños desencadenan una serie de afecciones generalmente de carácter irreversible, originando pérdidas económicas considerables de hasta un 60% además de afectar la calidad del producto. (Gómez et al., 2022).</p>

2.8 Biofertilizantes

Los biofertilizantes son una tecnología que implica la aplicación de microorganismos beneficiosos para mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Esto ayuda a contrarrestar los efectos negativos provocados por el exceso de fertilizantes químicos. (Barajas, 2017).

El uso de biofertilizantes ha destacado de forma positiva, ya que sus procesos son rápidos, ingieren poca energía, no contaminan el medio ambiente e incrementan la fertilidad del suelo al introducir dichos microorganismos beneficiosos facilitan la liberación de nutrientes inorgánicos, se promueve un equilibrio ecológico y se mejora la fertilidad de los suelos agrícolas. (Orozco et al., 2016).

En México no hay normativas específicas que definan la calidad de un biofertilizante. Sin embargo, en otros países existen normas técnicas que establecen las características que deben cumplir los biofertilizantes para su uso en la agricultura convencional o en la agricultura orgánica (Cancino-Méndez et al. 2018).

2.8.1 Tipos de biofertilizantes

Los biofertilizantes actúan como agentes fitosanitarios al fomentar la proliferación de microorganismos beneficiosos que compiten con los patógenos presentes en el suelo. Por lo tanto, son útiles para el control biológico de enfermedades. (Orozco et al., 2016).

Los microorganismos empleados en los biofertilizantes se clasifican en dos grupos:

- El primer grupo comprende microorganismos capaces de producir sustancias que estimulan el crecimiento de la planta, fijar nitrógeno del aire, solubilizar hierro y fósforo inorgánico, y mejorar la resistencia de la planta al estrés causado por sequía, salinidad, metales tóxicos y el exceso de pesticidas.
- El segundo grupo abarca microorganismos que pueden reducir o prevenir los efectos negativos de los microorganismos patógenos, o sea, aquellos que causan daño o enfermedades (Armenta-Bojórquez et al., 2010).

Para ello, existe el tipo de biofertilizante líquido: El uso de biofertilizantes líquidos es una de las prácticas de la agricultura orgánica para obtener una nutrición balanceada de las plantas. En forma de fermentos microbianos enriquecidos, ha sido uno de los procesos más utilizados en el manejo trofobiótico de microorganismos. (Alves et al., 2009).

El empleo de microorganismos rizosféricos como biofertilizantes también puede potenciar la calidad de los frutos de ciertos cultivos al aumentar el contenido de nutrientes en ellos (Gamboa-Angulo et al., 2020).

2.8.2 Hongos micorrízicos arbusculares

Los HMA son microorganismos rizosféricos simbióticos (Trejo et al., 2011). Se distinguen por su capacidad para liberar y hacer solubles los nutrientes presentes

en el suelo, además de su influencia en mantener la estabilidad de los ecosistemas en entornos donde las condiciones del suelo son difíciles o extremas. (Restrepo et al., 2019). La micorriza es una relación simbiótica beneficiosa entre un hongo y una planta superior (Casierra-Posada et al., 2013).

El empleo de HMA puede mejorar la fertilidad del suelo al facilitar la formación de agregados debido a la presencia de su micelio y compuestos orgánicos, especialmente lípidos. Estos productos fúngicos contribuyen al secuestro de carbono, reduciendo así las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Además, los HMA promueven la adaptación y supervivencia de las plantas hospedantes, lo que ayuda a mitigar el estrés abiótico al que están expuestas (Uc-Ku et al., 2019).

Pueden existir diferentes tipos de micorrizas, cuyas diferencias radican en su morfología y su fisiología. En la asociación micorriza/hospedero, el hongo ofrece aminoácidos, nutrientes y agua al hospedero, a cambio de fotosintatos (Casierra-Posada et al., 2013).

2.8.2.1 Género *Glomus*

Las especies de *Glomus* se reproducen asexualmente y forman esporas en el extremo de las hifas en crecimiento, ya sea en el hospedador o en el suelo. Se cree que son clamidosporas, germinan en el suelo hasta que entran en contacto con las raíces de la planta huésped, luego penetra en el pelaje y crece entre las células de la raíz, en el interior del hospedante, el hongo forma arbuscúlos muy ramificados, estas estructuras tienen una pared con múltiples capas, formadas a partir de la hifa que produce esporas, la cual generalmente permanece unida a la espora ya madura. Se localizan en la capa superficial o cerca de la superficie del suelo (Kumari, 2020).

Los *Glomus intraradices*, es un hongo micorrízico arbuscular (HMA) que predominantemente forma sus esporas intraradicalmente. El uso previo del nombre del género para los HMA que forman sus esporas en las raíces (Walker et al., 2021).

La hifa de HMA puede servir como un canal importante para los nutrientes del suelo que ingresan a las plantas, por lo tanto, también puede promover la absorción de nutrientes por parte de las plantas hospedantes, promover la evolución, el rendimiento y la calidad de las plantas, mejoran la capacidad fotosintética de las plantas y la función PSII, así como acelerar el crecimiento de las plantas y mejorar la resistencia al estrés de las plantas al afectar la exudación de las raíces (Zhang et al., 2018).

Nos dice Gamboa-Angulo et al., (2020) algunos estudios han analizado el valor nutricional de las frutas luego de la aplicación de rizobacterias, y encontraron que los tomates tratados con una combinación de micorrizas (*Glomus intraradices* + *Glomus mossea* + *Glomus etanicatum*) mostraron niveles elevados de vitamina C y minerales como fósforo y calcio.

2.8.2.2 Modo de acción

Las micorrizas pueden mejorar la nutrición de las plantas a través de diversos mecanismos:

- 1) Aumentan la capacidad de las raíces para explorar el suelo, ya que las hifas del hongo actúan como una prolongación.
- 2) Aumentan la captación de agua y nutrimentos como P, N, K y Ca.
- 3) Aumentan la resistencia a las fluctuaciones de temperatura y a la acidez extrema del suelo inducida por Al, Mg y S.
- 4) Brindan defensa contra ciertos agentes patógenos.
- 5) Prolongan la actividad de las raíces.
- 6) Mejoran la calidad del suelo al favorecer la cohesión de los agregados mediante el micelio y la producción de glomalinas.

Las micorrizas tienen un gran potencial en el ámbito de la agricultura sostenible. (Grageda-Cabrera et al., 2012).

2.8.3 Ventajas y desventajas de biofertilizantes

Las micorrizas brindan varias ventajas, como mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la resistencia a situaciones de estrés, contribuir a la mejora de la estructura del suelo y aumentar la estabilidad de los microagregados. Además, incrementan la reserva de carbono en el suelo. Se reconoce a los hongos micorrízicos arbusculares como la asociación simbiótica más relevante para la agricultura.

Al mejorar la nutrición de las plantas, los biofertilizantes promueven un mayor crecimiento de los cultivos. Además, los microorganismos presentes en estos productos tienen la capacidad de generar fitohormonas y otras sustancias que estimulan el crecimiento de las plantas.

Por ende, la desventaja que se presentan en los biofertilizantes es que

- Contribuyen a aumentar la producción de los cultivos a largo plazo.
- Los costos en el manejo del suelo aumentan al hacerlo orgánicamente. (Enriquez, 2021).

2.8.4 Inoculación con biofertilizantes

2.8.4.1 Métodos de obtención de inóculos (HMA)

Desde el siglo XVIII se inocularon hongos en plántulas de encino con el fin de aumentar la producción de trufas, un tipo de hongo altamente valorado por su gran importancia en la gastronomía. Estas trufas se colocaban en los "cajetes" donde se plantaban las plántulas de encino. Este proceso se llevó a cabo mucho antes de que se acuñara el término "micorriza" en 1885. (Grageda-Cabrera et al., 2012).

En otras palabras, existen dos métodos fundamentales para gestionar los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la agricultura:

1. Uno implica trabajar con los hongos nativos para aprovechar al máximo sus

beneficios, fomentando el crecimiento de uno o varios géneros una vez que han sido identificados.

2. El segundo método consiste en introducir o inocular el suelo HMA seleccionados que pueden ser manejados mediante prácticas agronómicas ya establecidas para estos hongos.

Asimismo, diversas investigaciones han indicado que aumentar gradualmente la concentración del inóculo de colorante durante la fermentación permite adaptar el cultivo microbiano a las condiciones futuras, lo que resulta en un mayor rendimiento. Agregar una fuente de carbono y energía al comienzo del proceso es importante, ya que la disponibilidad de estas sustancias está estrechamente vinculada al crecimiento del microorganismo y a la producción de enzimas ligninolíticas (Jaramillo et al., 2014).

2.8.4.2 Formas de inoculación de biofertilizantes

El empleo de biofertilizantes es exitoso en muchas naciones industrializadas, el uso y la aprobación de los biofertilizantes por parte del sector agrícola son más comunes y están más extendidos. Sin embargo, en los países en desarrollo, su utilización se ve restringida por diversos factores, incluyendo la falta de conocimiento sobre cómo gestionarlos adecuadamente (Grageda-Cabrera et al., 2012). Las técnicas recomendadas para la aplicación de biofertilizantes incluyen la inoculación de semillas, la inoculación de plántulas mediante inmersión, la aplicación a través del sistema de riego y la aplicación directa al suelo (Chávez-Díaz et al., 2020).

2.8.4.3 Cantidades de inóculo aplicadas en la agricultura

La relevancia de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la agricultura se debe a su amplio micelio fuera de las raíces, que establece una conexión entre la

planta y el suelo. Esta asociación planta-hongo proporciona a las plantas micorrizadas una ventaja en la absorción de nutrientes poco móviles, como el fósforo (P), en comparación con las plantas no micorrizadas. Esto se debe a que el micelio externo de los HMA se extiende a una mayor distancia en las plantas micorrizadas (Barrer, 2009).

El proyecto de Alvarado et al., (2014) realizó una investigación donde la inoculación micorrizogénica se llevó a cabo al agregar 1 g por planta durante el trasplante de las plántulas de tomate. Esto resultó en un aumento del 12% en comparación con las plantas de control, es decir, aquellas que no fueron inoculadas.

Al rotar los cultivos con plantas que son eficientes en la multiplicación de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), como *Helianthus annuus*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* y *Stizolobium aterrimum*, se incrementa la cantidad de inóculo de HMA en el suelo. Esto facilita la colonización de los cultivos sucesivos y mejora su nutrición y producción. Según investigaciones realizadas en microparcels, se ha observado un aumento significativo en la cantidad de propágulos iniciales de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Martín & Rivera, 2015).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

El proyecto de investigación se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en el municipio de Torreón Coahuila, con las coordenadas 25.5575696, -103.3748446, a una altitud de 1.124 m s. n. m., utilizando un vivero casa sombra cubierto con malla sombra tipo Raschel Negra

3.2 Material vegetal y mezcla de sustrato

Iniciando el día 8 de abril del 2022 se tamizo la arena y vermicompost seleccionada para el proyecto y esta mezcla se esterilizó durante 45min. a 121°C en una autoclave de presión a vapor caliente (Figura 3). Seguidamente en una cubeta con capacidad de 20 litros, se realizó la mezcla utilizando las diferentes cantidades de sustrato:

- 40% Peat moss.
- 20% Vermi compost.
- 20% Arena.
- 20% Perlita.



Figura 3. Autoclave de precisión a vapor caliente "Geo-Lab" Mod. CV-300

Para la siembra se utilizaron dos charolas blancas de poliestireno con 200 cavidades, estas se separaron en secciones de 40 cavidades para cada tratamiento, sembrando una semilla de tomate Mision híbrido de *Syngenta*, (Figura 4).



Figura 4. Semilla de jitomate híbrido "Misión"

3.3 Material microbiológico e inoculación

Como material microbiológico se utilizó el producto comercial; Innovak global (*mycoroot®*) el cual es un complejo inoculante Polvo Humectable, a base de hongos micorrízicos totales 1.06×10^6 esporas/g, *Azospirillum brasilense* 1.23×10^7 y carbono orgánico oxidable total 19.7% (p/p) (Figura 5).

Este producto se colocó directamente en la mezcla del sustrato previamente esterilizado, al ser puesto en la charola de germinación, de acuerdo a la cantidad para cada tratamiento.



Figura 5. Material microbiológico a base de Hongos Micorrízicos Arbusculares

3.4 Sistema de riego

El riego se aplicó de forma manual utilizando una botella de plástico regando dos veces al día, ya que el calor superaba los 30°C y el sustrato se secaba fácilmente. Un riego por la mañana y otro por la tarde-noche, asegurando mantener la humedad dentro del sustrato.

3.5 Descripción de los tratamientos

En la siguiente tabla 4 se describen las diferentes cantidades de micorrizas arbusculares que fueron seleccionadas para cada uno de los tratamientos.

Tabla 4. Descripción de los tratamientos evaluados para determinar la influencia de los HMA en las plántulas de jitomate.

Tratamiento	Descripción de sustrato
Tratamiento 0	Sustrato Sin Inoculo
Tratamiento 1	Sustrato + 2 g HMA
Tratamiento 2	Sustrato + 3 g HMA
Tratamiento 3	Sustrato + 4 g HMA
Tratamiento 4	Sustrato + 5 g HMA

Se utilizaron 2 charolas de 200 celdillas cada una y cada tratamiento estaba formado por 40 celdillas con una plántula por celdilla. El diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar.

3.6 Variables agronómicas evaluadas

A los 25 días después de la siembra, una vez que tuvieran las primeras hojas verdaderas se seleccionaron 5 plántulas de cada tratamiento y se evaluaron las siguientes variables agronómicas;

Longitud de planta. Se midió con un vernier digital marca “Steren” desde la raíz hasta el final de las hojas.

Longitud de tallo Se midió con un vernier digital marca “Steren” desde el tallo hasta el inicio de las hojas.

Longitud de raíz y diámetro del tallo para evaluar estas variables se utilizó un vernier digital marca “Steren”.

El área foliar y área de raíz para evaluar estas variables un software **Image pro 5**. **Porcentaje de materia seca**. Se determinó seleccionando 10 plántulas de cada tratamiento. Se utilizó una báscula analítica/precisión tomando el primer dato del peso de la bolsa, tarando y posteriormente tomando el dato del **peso fresco de plántula**. Una vez obtenido este dato de cada uno de los tratamientos, se introdujeron las plántulas en una estufa a 105°C por 24hr (Figura 6), después de las 24 horas se tomó el dato de cada uno de los tratamientos para así poder tener el peso seco de cada muestra. Utilizando la misma bascula analítica/precisión.



Figura 6. Estufa marca "Felisa" utilizada para la obtención de materia seca en plántulas de jitomate

Para determinar el porcentaje % de materia seca se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ materia seca} = \frac{\text{PF} - \text{PI} * 100}{\text{PM}}$$

Donde:

PF: Peso Final.

PI: Peso inicial.

PM: Peso con muestra

3.7 Variables microbiológicas

Para la determinación de las variables microbiológicas se siguió el siguiente procedimiento:

A los 25 días después de la siembra se tomaron las raíces frescas y se lavaron con agua corriente para eliminar cualquier residuo de suelo, luego fueron clareadas usando KOH al 10%

- 50 mL Formol.
- 175 mL Agua Destilada.
- 25 mL Ácido clorhídrico.
- 250 mL Alcohol etílico

Posteriormente, después de las 24 horas de reposo de la mezcla, se trasladaron a la preparación de azul de tripano, para ello se tuvo que realizar una mezcla de los siguientes productos:

- 125 mL Ácido láctico.
- 125 mL Agua.
- 250 mL Glicerina.
- 0.025 g. Azul de tripano

De acuerdo a la técnica de Phillips & Hayman 1970. Se realizaron observaciones en el microscopio 10x para la evaluación de *HMA*. Se separaron 30 muestras de una raíz examinando 10 segmentos de aproximadamente 1 cm de largo insertándolas en un portainjerto. Al revisar el campo óptico, se le otorgó el valor de 1 para la evaluación total, si se encontró alguna estructura de los HMA (hifas, vesículas o arbusculos), independientemente de la intensidad de micorrización.

En este trabajo solo se evaluó el efecto de los HMA en las variables descritas anteriormente.

3.8 Análisis estadístico

El proyecto se realizó con un diseño completamente al azar, el programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue **Infostat** y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los últimos años, tuvo un crecimiento exponencial considerablemente la aplicación de HMA como agentes de control biológico de plagas, principalmente debido a su capacidad para asegurar la estabilidad de los cultivos en un entorno sostenible (Marro, 2018). Se observó a través de una investigación que los HMA aplicados desde la germinación de la semilla en charola, favorecen las variables tanto microbiológicas como agronómicas. Becerra (2022), señala que inoculación con HMA del género *Glomus* mejora el crecimiento y la productividad del jitomate. Estos hongos son capaces de aumentar significativamente los rendimientos de la cosecha, con un aumento que varía entre el 56.3% y el 65%, en comparación con plantas que no fueron inoculadas.

4.1 Área foliar

La variable área foliar (Figura 7) puede observar que no presenta diferencia significativa entre los tratamientos Tukey ($P < 0.05$), ya que el crecimiento de la plántula fue homogéneo para todos los tratamientos. Sin embargo, se observa una diferencia numérica, en el tratamiento 4 (5 g HMA), en comparación con el resto de los tratamientos, como se observa en la Figura 7 y Figura 8 (A), esto se puede deber a una simbiosis antagónica propiciado por los HMA.

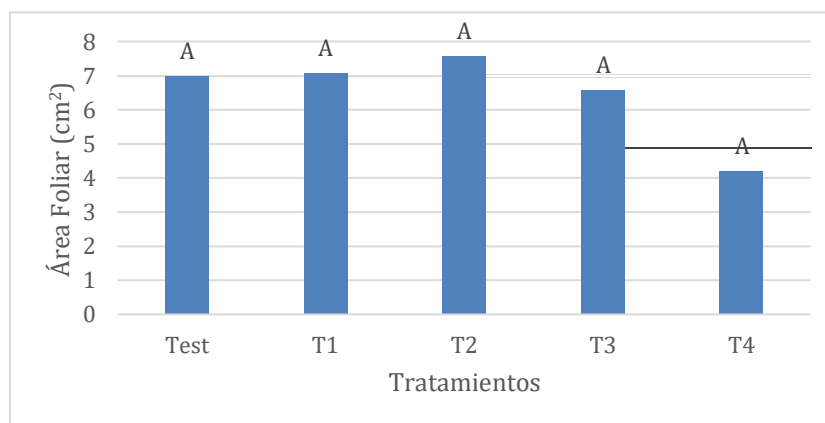


Figura 7. Influencia en área foliar (cm²) de plántulas de jitomate inoculadas con HMA

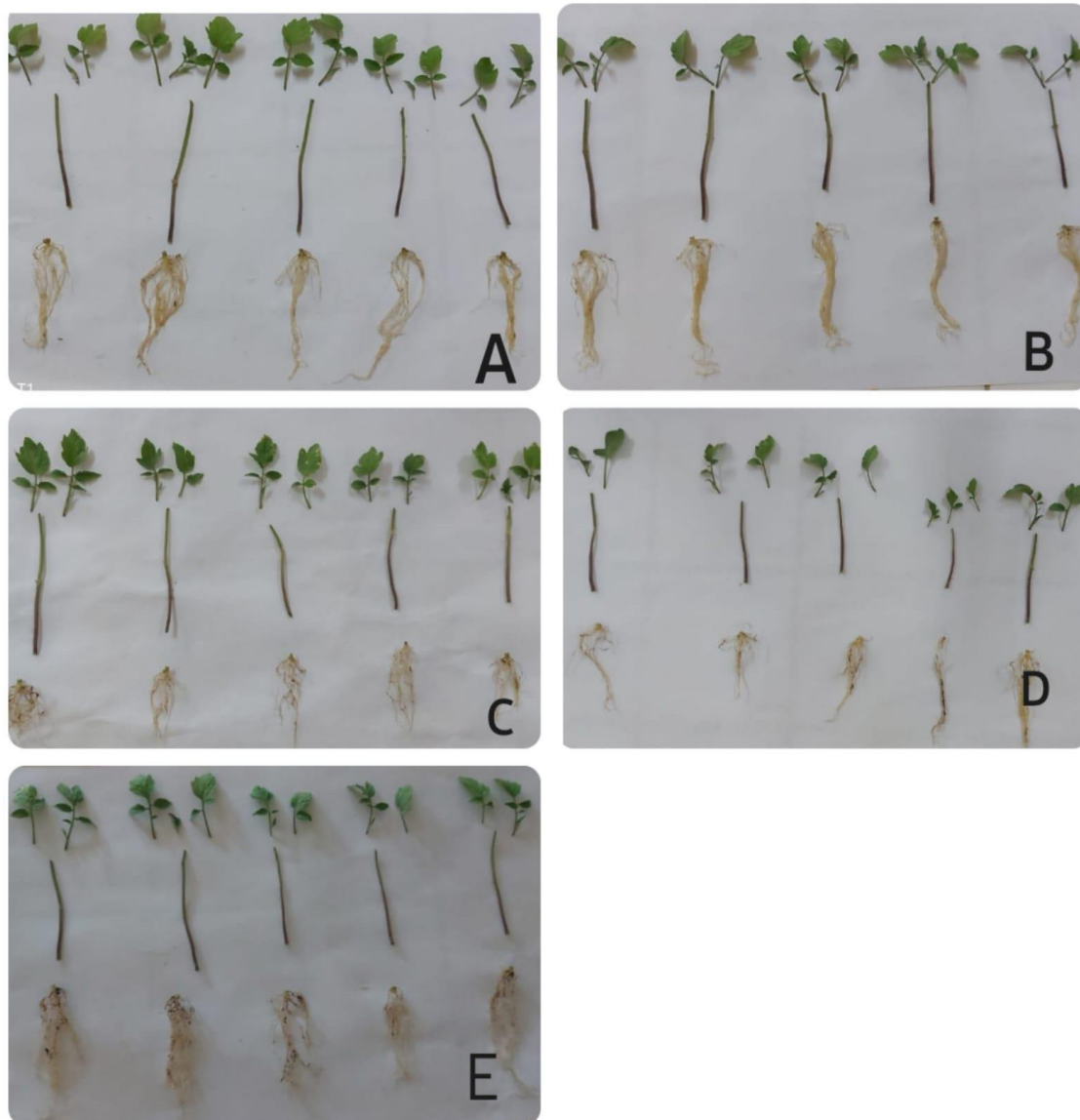


Figura 8. Imágenes de plántulas evaluadas con los tratamientos, A: (T1-2 g HMA), B: (T2-3 g HMA), C: (T3- 4 g HMA), D: (T4- 5 g HMA) y E: (T0: Sin inoculo).

Trejo-Aguilar (2018) realizó un estudio donde demostró la importancia que tienen los HMA debido a su efecto positivo en área foliar. García & González, 2018 informan que tienen un impacto en el proceso de germinación de las semillas. La temperatura, por ejemplo, afecta la capacidad de las semillas para absorber agua y desencadena diversas reacciones bioquímicas. Además, la actividad del

fitocromo, un pigmento vegetal sensible a la luz puede incrementar o disminuir la germinación de las semillas, y esta actividad está influenciada por la temperatura ambiental.

4.2 Área radicular

Para la variable área de raíz (Figura 9) se observa estadísticamente que el tratamiento sin inóculo (Testigo) (Figura 8 E) sobresale con un área radicular de 16 cm². En cambio, los tratamientos 1, 3 y 4 con HMA no favorecieron el desarrollo del área radicular de las plántulas. Mientras que el T₂, tiene un área radicular similar, estadísticamente, al testigo.

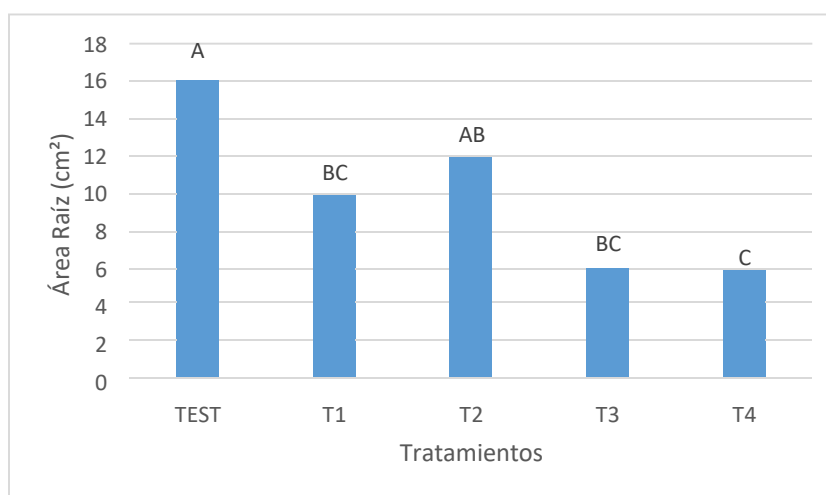


Figura 9. Influencia en área radicular (cm²), en plántulas de jitomate inoculadas con HMA

Los HMA tuvieron un efecto no favorable para el área de raíz, de igual manera que en área foliar esto se puede deber a distintos factores, como señalan Martín & Rivera, (2015) la capacidad de retención de agua, la densidad, la velocidad de infiltración y la aireación del suelo son características que están influenciadas por la calidad, cantidad y tipo de manejo del material añadido (HMA), así como por los factores climáticos y las propiedades naturales del suelo.

El T₂ (3 g HMA) es estadísticamente similar al testigo, ya que es el segundo tratamiento con mayor área de raíz. De acuerdo con Getsemany (2019), los HMA poseen la capacidad de estimular la formación de raíces debido a que sintetizan reguladores del crecimiento como auxinas y citocininas.

4.3 Longitud de planta

Para la variable longitud de planta (Figura 10) se puede observar que hay diferencia significativa en los tratamientos, ya que donde se aplicó una menor cantidad de HMA como en los tratamientos T₁ (2 g) (Figura11) y T₂ (3 g), se obtuvo una longitud de planta igual a la del testigo (Sin inoculo). Lagos, (2010) reporta que la asociación de hongo-planta genera incrementos de las tasas fotosintéticas, por lo que favorece el crecimiento y desarrollo de la planta.

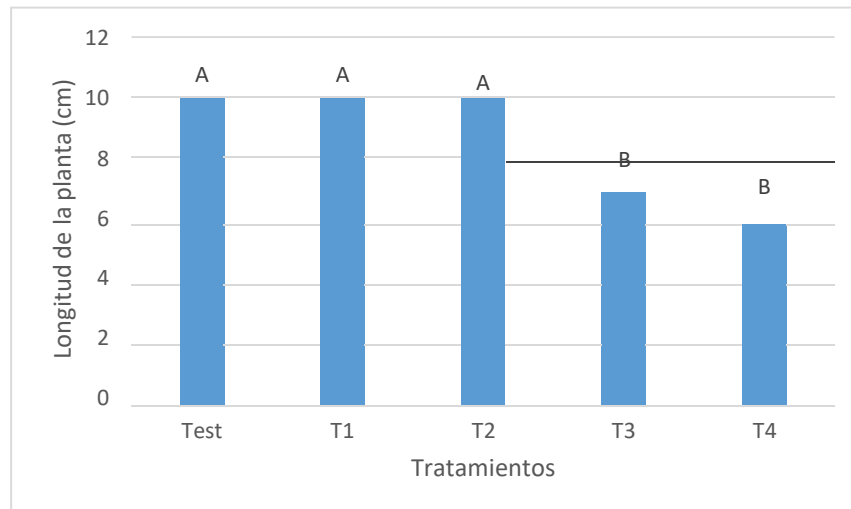


Figura 10. Influencia en longitud de plántula (cm) de jitomate inoculadas con HMA



Figura 11. Plántulas utilizadas para evaluar longitud de planta (cm) correspondiente al tratamiento 1, inoculado con 2 g de HMA

Estos resultados indican que entre menor cantidad de HMA hay más efectividad en el crecimiento de las plántulas. De acuerdo con Becerra, (2022) la inoculación de (HMA) tiene un impacto significativo en la biomasa de la planta, tanto en pequeña, mediana como en gran escala, y la dosificación puede variar según las necesidades de la planta. Esta inoculación se realiza de forma fraccionada durante las tres etapas de crecimiento de la planta: inicial, vegetativa y reproductiva, garantizando así una estabilidad nutricional adecuada en su desarrollo.

4.4 Longitud de tallo

La inoculación de HMA en las plántulas de jitomate se observó una diferencia significativa en la variable agronómica longitud de tallo, siendo el T₃ (4 g HMA) (Figura 12) el que presentó el mejor resultado con una media de longitud de 9.82 cm. Mientras que el Testigo, T₁, T₂ y T₄ son estadísticamente iguales para esta variable. (Figura 13).

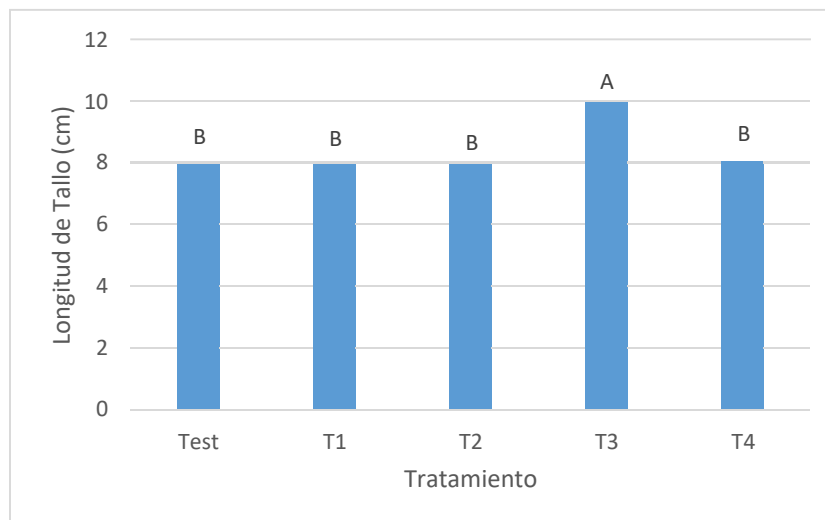


Figura 12. Influencia en longitud de tallo (cm) de plántulas de jitomate inoculadas con HMA



Figura 13. Plántulas con mayor longitud de tallo por la aplicación de T₃: 4 g HMA
Los 4 g de HMA favorecen la longitud de tallo de la plántula de tomate desde su germinación en charola.

4.5 Longitud de raíz

Para la variable longitud de raíz se presentó diferencia significativa entre tratamientos, donde sobresale el T₂ (3 g HMA) para esta variable dando una media de 12.32 cm desde su germinación, como se observa en la Figura 14. Este resultado es igual al presentado por Ramos et al., (2021), quien obtuvo una mayor longitud de raíz con la inoculación de 3 g de HMA *R. irregularis*.

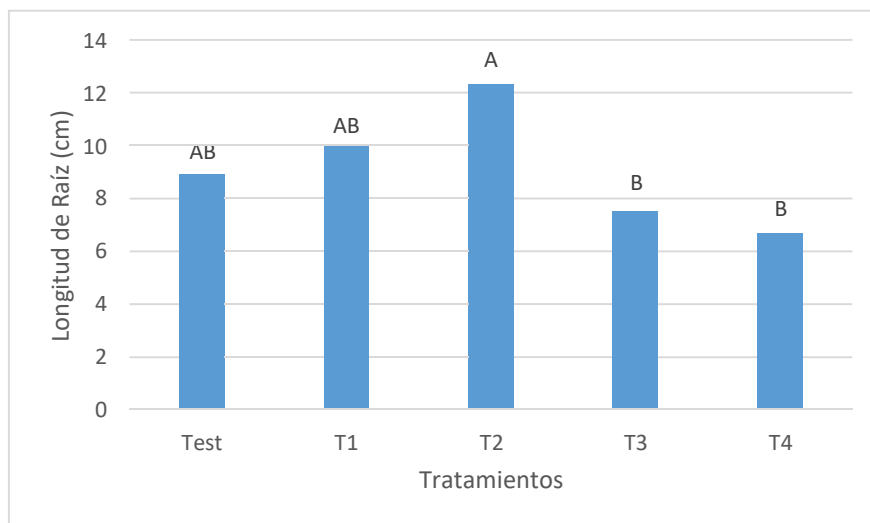


Figura 14. Influencia en longitud de raíz (cm) en plántulas de jitomate inoculadas con HMA

Referente a los resultados obtenidos con los T₃ (4 g de HMA) y T₄ (5 g de HMA), se observa una respuesta contraria, ya que a mayor cantidad de HMA se obtiene una menor longitud de raíz, presentando medias de 7.5 y 6.68 cm.

4.6 Diámetro del tallo

Para la variable agronómica diámetro de tallo (Figura 15), no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, se puede observar una diferencia numérica para el T₄ (5 g HMA) en comparación con el resto de los tratamientos, con una media de 2.18 mm (Figura 16). En cambio, se puede observar que en esta variable el tratamiento que no fue inoculado fue el que obtuvo el menor diámetro de tallo.

Brunot Garau, P. (2020) informa que el crecimiento secundario es un proceso beneficioso para las plantas y específicamente es el proceso por el cual las raíces, los tallos y el hipocótilo crecen en grosor y proporcionan la estabilidad que necesitan para su crecimiento.

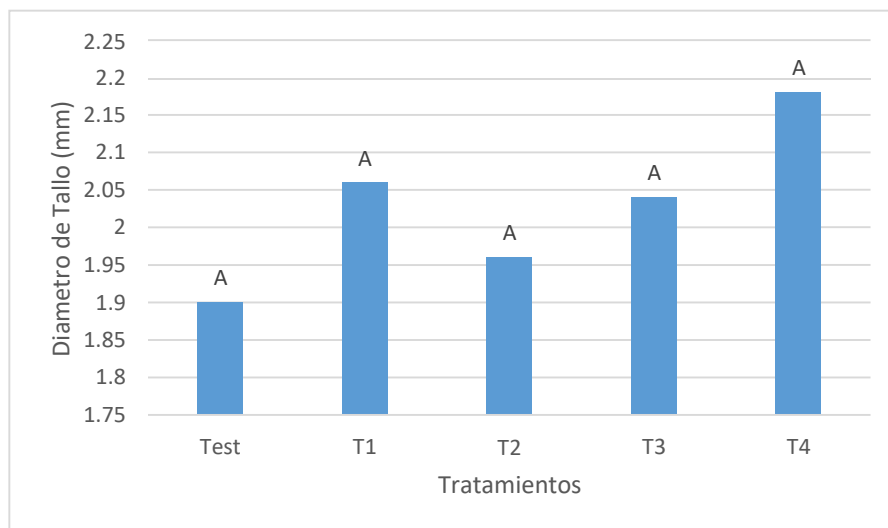


Figura 15. Influencia en diámetro de tallo (mm) en plántulas de jitomate inoculadas con HMA

Numéricamente las plántulas del tratamiento 4 obtuvieron un crecimiento secundario mayor al resto de los tratamientos con 2.17 mm, lo cual le puede beneficiar al tener un mejor soporte en la planta, en cambio sería más demorado en el crecimiento, ya que el T₄ fue el que tuvo la menor respuesta en el desarrollo de la variable agronómica longitud de planta.



Figura 16. Plántulas con mayor diámetro de tallo (mm) por efecto de la inoculación de HMA en el desarrollo de plántulas de jitomate

4.7 Materia seca

En la variable materia seca (g) (Figura 17) se identifica que hay una diferencia significativa entre los tratamientos, dando el mayor peso, los tratamientos 2 (3 g HMA) y T₃ (4g HMA) que favorecieron la biomasa, obteniendo 14.0 y 13.9 g, en comparación con el testigo que obtuvo un 12.52 g.

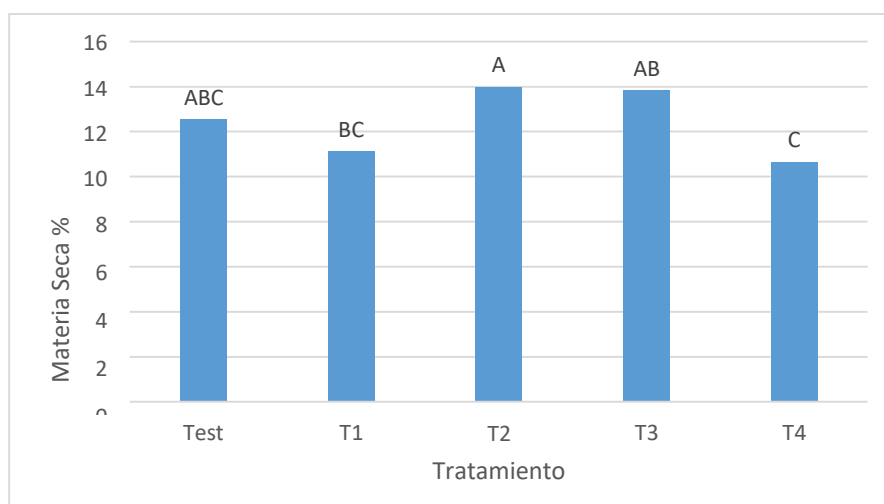


Figura 17. Influencia en materia seca de plántulas de jitomate inoculadas con HMA

En el estudio de Charles et al., 2015 al evaluarse la masa seca se puso de manifiesto un mayor efecto de los HMA a mayores dosis del fertilizante mineral, tanto combinado con el humus de lombriz como sin él. La elevada producción de biomasa, parece estar relacionada con los hongos micorrízicos arbusculares, que influyeron positivamente en el aumento de la concentración de las hormonas de crecimiento.

4.8 Porcentaje de Hifas

Para la variable microbiológica porcentaje de hifas (Figura 18) se determinó diferencias significativas entre los tratamientos. Sobresalen el T₁ (2 g HMA) y T₃ (4 g HMA). El T₁ obtuvo una media de 59.55% mientras que el T₃ obtuvo 51.56%. Los tratamientos 2 (3 g HMA) y 4 (5 g HMA) con resultados estadísticamente similares que están por debajo de los tratamientos con mayor resultado aun así sienten los tratamientos que están arriba del T₀ (Testigo).

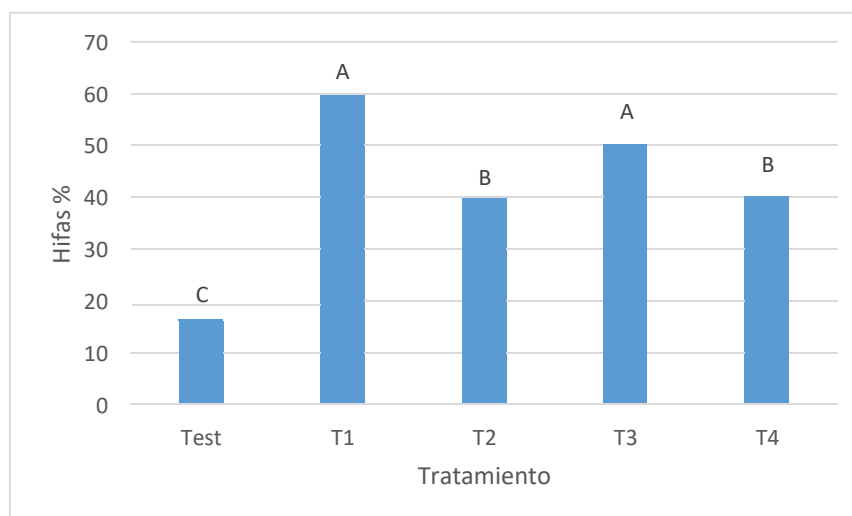


Figura 18. Influencia en porcentaje de hifas, en plántulas de jitomate inoculadas con HMA

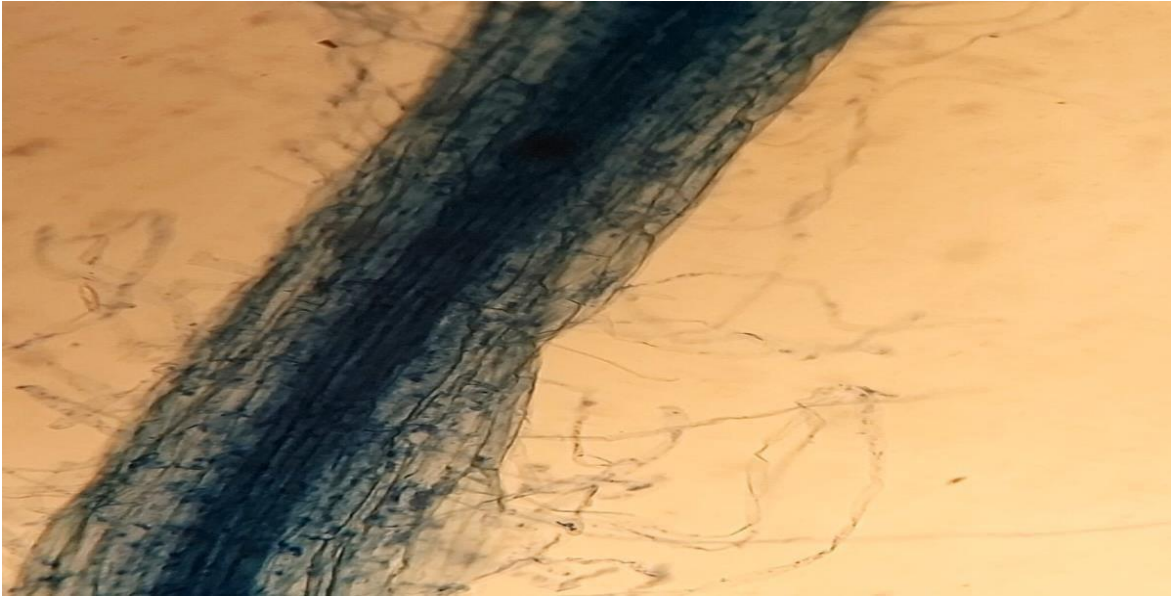


Figura 19. Estructuras fúngicas (HMA) en raíz de plántula de jitomate, observada a 10x en microscopio óptico

La amplia red de hifas extraradicales desarrolladas por los HMA forman una extensa red que se extiende desde la superficie de la raíz, lo que incrementa de manera significativa la superficie de absorción de la planta, multiplicándola entre 100 y 1000 veces. Estas hifas se extienden desde la solución del suelo hasta la planta huésped a medida que crecen. (Osorio, 2012).

Quiñones-Aguilar et al., (2012) mencionan que por medio de sus hifas y la secreción de fosfatasas extracelulares los HMA son capaces de capturar, transportar y solubilizar los elementos nutritivos poco disponibles en el suelo. Por otra parte, Cristóbal-Alejo et al., (2021) mencionan que los HMA elaboran una amplia red de hifas extra radicales que favorecen la translocación de agua y nutrimentos, poco móviles del suelo, como son el fósforo, cobre, potasio, amonio y zinc, para la nutrición de la planta.

Mujica (2012) los mayores porcentajes estuvieron en los tratamientos inoculados con respecto al testigo, Este fenómeno se explica porque al inicio del establecimiento de la simbiosis micorrízica, la actividad fúngica está enfocada solo a colonizar la planta, pero posteriormente se incrementan el contenido de hifas en el interior de la membrana plasmática y las estructuras arbusculares.

En comparación, para Bell-Mesa et al., (2017) informa que la respuesta a la inoculación depende en gran medida del adecuado suministro de nutrientes para las plántulas, Se demostró que la riqueza del sustrato influye sobre la eficiencia de la micorrización, con una alta disponibilidad de nutrientes esta se inhibe.

4.9 Porcentaje de Arbusculos

La presencia de estructuras fúngicas Arbusculos se presentó en mayor porcentaje para el Tratamiento 3 (4 g HMA) obteniendo una media de 21.78%. presentando diferencias significativas entre los mismos, (Figura 20). La inoculación de HMA mostró buenos resultados para esta variable microbiológica en los tratamientos inoculados.

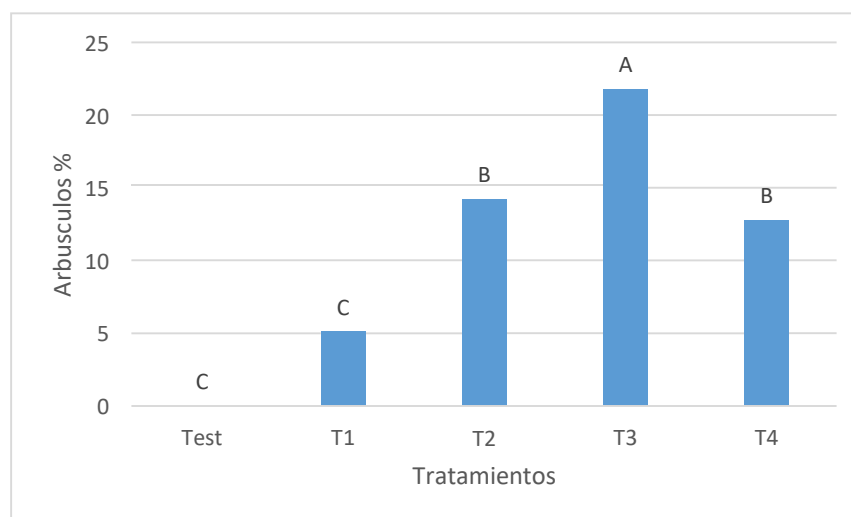


Figura 20. Influencia en porcentaje de arbusculos en plántula de jitomate inoculadas con HMA

Cuando las condiciones ambientales de temperatura y humedad son favorables, las esporas e hifas, que actúan como estructuras infectivas de los HMA, germinan en el suelo y entran en contacto con la superficie de las raíces. Durante este proceso de infección, el hongo micorrizal coloniza la epidermis y las células del córtex de la raíz. Dentro de estos tejidos el hongo desarrolla estructuras llamadas arbusculos

que le permiten intercambiar nutrientes con la raíz (Osorio, 2012).

Nos informan Pérez et al., (2016) que la vida media de un arbusculo en actividad es muy corta y varía entre dos y quince días, al cabo de los cuales se colapsa y permanece rodeado por el plasmalema de la célula vegetal, siendo encapsulado por material depositado en la zona interfacial proveniente presumiblemente del hospedero.

4.10 Esporas y vesículas

En cuanto a esta variable, no se lograron detectar estas estructuras al observar al microscopio. Pérez et al., (2016) señala que las condiciones del suelo como el pH, la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes influirán tanto en la colonización micorrízica como en el número de esporas. De igual manera muestran diferentes patrones de colonización, siendo las estructuras de mayor presencia de hifas (intraradical y extra-radical) y en menor proporción las vesículas.

Por otra parte, al analizar los indicadores del comportamiento de la simbiosis micorrízica en la germinación de la plántula de jitomate, se observó un efecto positivo de la inoculación con micorrizas observando hifas y arbusculos.

5. CONCLUSIONES

Conforme a la obtención de los resultados en el análisis estadístico, las variables donde se determinó una diferencia significativa entre los tratamientos fueron; Área Radicular, Longitud de Planta, Longitud de Tallo, Longitud de Raíz, Materia Seca, Hifas y Arbúsculos.

Se observó en los resultados que los tratamientos presentaron efectos positivos en las variables agronómicas, donde los tratamientos 2 y 3 con (3 y 4 g de HMA respectivamente) aplicados al momento de la siembra de las semillas, tuvieron un efecto positivo en las variables de Área Radicular, Longitud de Planta, Longitud de Tallo, Longitud de Raíz y Materia Seca. Referente a la presencia de estructuras fúngicas el T₁ (2 g HMA) y T₃ (4 g de HMA) sobresalen entre los tratamientos con una buena respuesta en la variable Porcentaje de Hifas; para la variable Porcentaje de arbúsculos, se obtuvieron mejores resultados con el Tratamiento 3. Respecto a esporas y vesículas no se lograron detectar estas estructuras al observar al microscopio.

Para las variables restantes; diámetro de tallo y área foliar, se obtuvieron resultados sin diferencia estadística entre tratamientos.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados del presente trabajo, se recomienda evaluar en otro proyecto de investigación, el efecto de los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA), utilizando una menor cantidad del producto comercial, de 1 a 3 g de HMA, en la producción de plántulas de tomate en charola y aplicar durante el desarrollo de la misma algún tipo de nutrición orgánica o mineral. También se recomienda mejorar las condiciones climáticas del invernadero o casa sombra, donde se establezca el proyecto y así poder evaluar su efectividad en el desarrollo de las plántulas de tomate.

7. LITERATURA CITADA

Alvarado Carrillo, M., Díaz Franlo, A., & Peña del Río, M. D. L. Á. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 513-518.

Alves, G. S., Santos, D., Silva, J. A., Nascimento, J. A. M., Cavalcante, L. F., & Dantas, T. A. G. (2009). Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos de biofertilizantes. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31, 661-665.

Angulo-Castro, A., Ferrera-Cerrato, R., Alarcón, A., Almaraz-Suárez, J. J., Delgadillo-Martínez, J., Jiménez-Fernández, M., & García-Barradas, O. (2018). Crecimiento y eficiencia fotoquímica del fotosistema ii en plántulas de 2 variedades de *Capsicum annum* L. inoculadas con rizobacterias u hongos micorrícicos arbusculares. *Revista argentina de microbiología*, 50(2), 178-188.

Arias Mota, R. M., Romero Fernández, A. D. J., Bañuelos Trejo, J., & Cruz Elizondo, Y. D. L. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1747-1757.

Armenta-Bojórquez, A. D., García-Gutiérrez, C., Camacho-Báez, J. R., Apodaca-Sánchez, M. Á., Gerardo-Montoya, L., & Nava-Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51-56.

Báez-Pérez, A., Limón-Ortega, A., Ramírez-Barrientos, C. E., Ortega-Villalobos, I. A., & Olivares-Arreola, E. A. (2020). Efecto de biofertilizantes y agricultura de conservación en la producción de trigo en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 569-581.

Barajas, L. N. A. (2017). Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. *Ingeciencia*, 2(1), 65-76.

Barrer S. (2009) El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura.

Becerra Fonseca, L. (2022). Efecto de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* L.).

Bell-Mesa, T. D., Osoria-Galan, D., Montero-Limonta, G., & Molina-Lores, L. B. (2017). Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre Pimiento (*Capsicum annum* L.) en la

- producción de plántulas en campo antena, santiago de cuba. *Ciencia en su PC*, (4), 53-67.
- Bergougnoux, V. (2014). La historia del tomate: de la domesticación a la biofarmacia. *Avances en biotecnología*, 32 (1), 170-189.
- Berrospe-Ochoa, E. A., Ordaz-Chaparro, V. M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., & Quintero-Lizaola, R. (2012). Cachaza como sustrato para la producción de plántula de tomate. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(1), 141-156.
- Brunot Garau, P. (2020). Caracterización de nuevos reguladores del crecimiento secundario.
- Cammarano, D., Ronga, D., Di Mola, I., Mori, M., & Parisi, M. (2020). Impact of climate change on water and nitrogen use efficiencies of processing tomato cultivated in Italy. *Agricultural Water Management*, 241, 106336.
- Cancino-Méndez, G. M., Rosales-Uc, E. M., & Herrera-Chale, F. G. (2018). La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista del Centro de Graduados. Instituto Tecnológico de Mérida*, 33(72), 121-125
- Carrillo-Sosa, Y., Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., & Delgado-Arrieta, G. (2022). Efecto de la coinoculación de microorganismos eficientes-HMA en el rendimiento del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 43(2), e03-e03.
- Casierra-Posada, F., Peña-Olmos, J., Peñaloza, J., & Roveda, G. (2013). Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 61-70.
- Castillo, G. A. B., Escobar, R. N., León, M. T. C., Chávez, L. T., & Torres, J. L. T. (2006). Cultivo hidropónico de plántulas de jitomate en zeolita cargada con K⁺, Ca²⁺ o Mg²⁺ y diferente granulometría. *Agrociencia*, 40(4), 419-429.
- Charles, N. J., & Martín Alonso, N. J. (2015). Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 55-64.
- Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & Santos Villalobos, S. D. L. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(6), 1423-1436.

Cotrina Silva, Y. M. (2018). Eficacia de la inoculación de micorrizas en el suelo para incrementar la productividad del tomate (*Solanum lycopersicum*), Huarochirí, 2018.

Cristóbal-Alejo, J., Ramos-Zapata, J. A., Basto-Pool, C., & Herrera-Parra, E. (2021). Hongos micorrícicos arbusculares como control biológico del nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.) en hortalizas de Yucatán. *Bioagrobiencias*, 14(1).

Enriquez Haro, J. T. (2021). *Los abonos orgánicos: ventajas y desventajas en los cultivos hortícolas de la costa ecuatoriana* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).

Flores, J. (2007). Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 25(2), 127-134.

Galeana López, J. A. (2015). *Uso de biotecnología moderna para el control de la mosquita blanca en plantas de soya y tomate* (Master's thesis, Tesis (MC)--Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Departamento de Biotecnología y Bioingeniería).

Gamboa-Angulo, J., Ruíz-Sánchez, E., Alvarado-López, C., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V. M., & Medina-Dzul, K. (2020). Efecto de biofertilizantes microbianos en las características agronómicas de la planta y calidad del fruto del chile xcat'ik (*Capsicum annuum* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(4), 817-826.

García, J. D. R., & González, S. D. P. (2018). Germinación de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), papaya (*Carica papaya* L.) y maracuyá (*Passiflora edulis*) utilizando sustratos orgánicos. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 9(2), 18-35.

Getsemany, B. S. I. (2019). Respuesta en el desarrollo y composición nutrimental de la planta de tomate (*Solanum lycopersicum*) en interacción con el hongo micorrícico arbuscular (*Rhizofagus intraradices*) y el extracto del alga marina (*Ulva lactuca*).

Godoy, P., Zolezzi, M., & Sepúlveda, P. (2018). Principales plagas y enfermedades en lechuga, tomate y cebolla.

Gómez, A. A. G., García, C. A. G., & Gaitan, C. E. L. (2023). Competitividad de la producción de jitomate en el estado de Oaxaca, región Valles Centrales. *Revista de Geografía Agrícola*, 000-000.

Gómez, A. L. S., Hernández, E. O., Ahumada, C. A. E., Herrera, R. R., Martínez, M. T. D. J. S., Ramírez, E. N., & Drouaillet, B. E. (2022). Principales enfermedades del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de campo. *Ciencia Latina Revista*

Científica Multidisciplinar, 6(1), 4190-4210.

Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., & Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300-306.

Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.

Gustavo-González, L., Paz-Martínez, I., Boicet-Fabré, T., Jiménez-Arteaga, M. C., Falcón-Rodríguez, A., & Rivas-García, T. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax® en el rendimiento y calidad de plántulas de tomate variedades ESEN y L-43. *Terra Latinoamericana*, 39.

Gutierrez Ayala, J. (2019). Efecto de tres sustratos como facilitadores en la germinación de *Solanum lycopersicum* bajo condiciones de vivero.

Guzmán, A., Corradini, F., Martínez, J. P., & Torres, A. (2017). Manual de cultivo del tomate al aire libre.

Hidalgo Nata, F. M. (2019). *Determinación de los requerimientos hídricos óptimos del tomate (Solanum lycopersicum L.) mediante el cálculo de la Evapotranspiración y Kc, en la zona de Mocache* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).

Inders (2021). Manual de producción de jitomate <https://inders.com.mx/wp-content/uploads/2021/08/Manual-de-cultivo-de-jitomate.pdf>

Jaramillo, A., Jiménez, S., Merino, A., & Hormaza, A. (2014). Obtención de un inóculo fúngico para la degradación de un colorante azo por fermentación en estado sólido. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 577-585.

Juárez Segura, A. (2019). Nutrición semiorgánica y química en cultivo de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Kumar, M., Chandran, D., Tomar, M., Bhuyan, DJ, Grasso, S., Sá, AGA, ... & Mekhemar, M. (2022). Potencial de valorización de la semilla de tomate (*Solanum lycopersicum* L.): calidad nutracéutica, propiedades alimentarias, aspectos de inocuidad y aplicación como ingrediente promotor de la salud en alimentos. *Horticulturae*, 8 (3), 265.

Lagos, S. M. (2010). Evaluación de cuatro cepas de micorriza arbuscular en plantas de tomate en vivero, Zamorano, Honduras.

Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 61-76.

Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., & Díaz-Ruíz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 61-76.

LONG, J. Tomate y jitomate en el siglo XVI Instituto de Investigaciones Históricas de la UNAM 2013. Available from: <http://www.historicas.unam.mx/publicaciones/revistas/nahuatl/pdf/ecn25/463.pdf>. Accessed: Sept. 22, 2015. <http://www.historicas.unam.mx/publicacio...>

López Marín, L. M. (2017). Manual técnico del cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*.

Marro, N. A. (2018). Efecto de hongos micorrízico arbusculares (Glomeromycota) sobre el nematodo fitófago *Nacobbus aberrans* (nematoda) en plantas de importancia agrícola.

Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos tropicales*, 36, 34-50.

Martín, G. M., & Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos tropicales*, 36, 34-50.

Martínez, J. R., Vicente, A. A., Saenz, J. C. M., Herrera, R. R., & González, C. N. A. (2012). Un tesoro percedero en México: el tomate, tecnologías para prolongar su vida de anaquel. *Investigación y ciencia de la universidad autónoma de Aguascalientes*, (54), 57-63.

Martínez-Ruiz, F. E., Cervantes-Díaz, L., Aíl-Catzím, C. E., Hernández-Montiel, L. G., Sánchez, C. L. D. T., & Rueda-Puente, E. O. (2016). Hongos fitopatógenos asociados al

tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18).

Martiñón, G. A. T., Veloz, C. S., Ostoa, G. A., Osorio, C. G., & Espinosa, J. S. (2017). Evaluación de la calidad de frutos de jitomate de cuatro poblaciones nativas y un híbrido comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 18(1), 47-52.

Mexicans were the first to build chinampas in the thirteenth century, to increase the arable land in the Mexico valley (GONZÁLEZ & TORRES, C. E.; TORRES, V. C. La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el valle de México: caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*, v. XVIII, n.34, p.699-709, 2014. Available from: <http://www.redalyc.org/pdf/141/14131514005.pdf>>. Accessed: Jan. 10, 2015. ISSN: 1405-9282.

<http://www.redalyc.org/pdf/141/141315140...>

Mollá Hernández, Ó. (2013). Control biológico de la polilla del tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) mediante la gestión de miridos depredadores.

Mossande, A. R., Brown Manrique, O., & Mujica, A. (2015). Requerimientos hídricos del tomate en el valle de Cavaco en Benguela, Angola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 5-10.

Mujica Pérez, Y. (2012). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) por dos vías diferentes en el cultivo del tomate (*Solanun lycopersicum* L.). *Cultivos tropicales*, 33(4), 71-76.

Orozco Corral, A. L., Valverde Flores, M. I., Martínez Téllez, R., Chávez Bustillos, C., & Benavides Hernández, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456.

Osorio, N. W. (2012). Uso de hongos formadores de micorriza como alternativa biotecnológica para promover la nutrición y el crecimiento de plántulas. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, 1(2), 1-4.

Parra-Terraza, S.; Salas-Núñez, E.; Villarreal-Romero, M.; Hernández-Verdugo, S. y Sánchez-Peña, P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 16(1):37-47. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.16.005>.

Pérez, A., Cury, K., & Oviedo, L. (2016). Colonización de micorrizas arbusculares en tres especies de pasturas del departamento de Sucre. *Temas Agrarios*, 21(2), 65-75.

Pérez, A., Cury, K., & Oviedo, L. (2016). Colonización de micorrizas arbusculares en tres especies de pasturas del departamento de Sucre. *Temas Agrarios*, 21(2), 65-75.

Phillips, J.M., Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*. 55(1):158-IN18.

Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández-Acosta, E., Rincón-Enríquez, G., & Ferrera-Cerrato, R. (2012). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 165-176.

Ramos Otiniano, C. C., Hidalgo Rodríguez, J. E. M., Vera Vega, M. Á., Pedro Huaman, J. J., Rodríguez Seminario, C. E., & Chaman Medina, M. E. (2021). Efecto del NaCl y micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) en el crecimiento de "tomate" *Solanum lycopersicum* L.(Solanaceae). *Arnaldoa*, 28(3), 675-692.

Restrepo Giraldo, K. J., Montoya Correa, M. I., Henao Jaramillo, P., Gutiérrez, L. A., & Molina Guzmán, L. P. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *Idesia (Arica)*, 37(1), 35-44.

Saavedra, TM, Figueroa, GA y Cauih, JGD (2016). Origen y evolución de la producción de tomate *Lycopersicon esculentum* en México. *Ciencia Rural* , 47 .

Santander, C., Ruiz, A., García, S., Aroca, R., Cumming, J., & Cornejo, P. (2020). Efficiency of two arbuscular mycorrhizal fungal inocula to improve saline stress tolerance in lettuce plants by changes of antioxidant defense mechanisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1577-1587.

SIAP, S. (2022). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Panorama Agroalimentario 2022.

Terry Alfonso, E., Falcón Rodríguez, A., Ruiz Padrón, J., Carrillo Sosa, Y., & Morales Morales, H. (2017). Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 147-154.

Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcón, A. (2011).

Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 23-31.

Uc-Ku, A. G., Arreola-Enríquez, J., Carrillo-Avila, E., Osnaya-González, M. M., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., & Landeros-Sánchez, C. (2019). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de *Heliconia stricta*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1057-1069.

Walker, C., Schüßler, A., Vincent, B., Cranenbrouck, S. y Declerck, S. (2021). Anclaje de la especie *Rhizophagus intraradices* (anteriormente *Glomus intraradices*). *Sistemática fúngica y evolución*, 8 (1), 179-197.

Zavala Sierra, D. (2019). Producción, calidad comercial y nutracéutica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado con fertilización orgánica y convencional.

Zhang, H., Xu, N., Li, X., Long, J., Sui, X., Wu, Y., ... y Sun, GY (2018). El hongo micorrízico arbuscular (*Glomus mosseae*) mejora el crecimiento, la fotosíntesis y protege el fotosistema II en hojas de *Lolium perenne* L. en suelos contaminados con cadmio. *Fronteras en la ciencia de las plantas*, 9, 1156.

8. ANEXOS

Evaluación de cada variable mediante el formato Anova

Variable	Cuadrado medio	Valor p	Coefficiente variación (%)
Area foliar	8.77	0.0983	30.33
Area radicular	96.47	0.0002	31.88
Longitud de planta	15.79	0.0001	8.38
Longitud de tallo	3.62	0.0034	9.66
Longitud de raíz	24.20	0.0036	23.08
Diámetro de tallo	0.06	0.1884	8.98
Hifas	4023.05	0.0001	20.99
Arbusculos	1087.18	0.0001	51.86