



1859



Universidad  
Nacional  
de Loja

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**  
**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja**

Trabajo de Tesis previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Agrónomo

**AUTOR:**

Luis Miguel Romero Manzanares

**DIRECTORA:**

*PhD.* Mirian Irene Capa Morocho

**Loja - Ecuador**

**2022**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

*PhD.* Mirian Irene Capa Morocho

**DIRECTORA DE TESIS**

CERTIFICO:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: **Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja**, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, del egresado: **Luis Miguel Romero Manzanares**, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio del egresado.

Loja, 3 de agosto del 2022



Firmado electrónicamente por:

**MIRIAN IRENE  
CAPA MOROCHO**

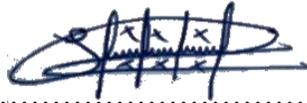
---

FIRMA

*PhD.* Mirian Irene Capa Morocho  
**DIRECTOR DE TESIS**

## AUTORÍA

Yo, Luis Miguel Romero Manzanares declaro ser el autor del presente TRABAJO DE TESIS y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



**Firma:** .....

**Cédula:** 0705641751

**Fecha:** 22 de septiembre del 2022

**Correo electrónico:** luis.m.romero@unl.edu.ec

**Celular:** 0967689431

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA DE PRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE TEXTO COMPLETO**

Yo, Luis Miguel Romero Manzanares, declaro ser el autor de la tesis titulada: **Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja**, como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, en las redes de información del país y del exterior, con las que mantenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintidós días del mes de septiembre del dos mil veintidós

**Firma:**



**Autor:** Luis Miguel Romero Manzanares

**Cédula:** 0705641751

**Dirección:** La Argelia. Loja-Ecuador.

**Correo electrónico:** luis.m.romero@unl.edu.ec

**Celular:** 0967689431

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de tesis:** *PhD.* Mirian Irene Capa Morocho

**Tribunal de grado:**

Ing. Klever Chamba Caillagua

Presidente

*PhD.* Marlene Molina Müller

Vocal

*Mg.Sc.* Paulina Fernández Guarnizo

Vocal

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado primeramente a Dios por haberme otorgado sabiduría y inteligencia para alcanzar mis objetivos trazados, a mis padres Miguel y Maritza quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a formarme profesionalmente, gracias por inculcar buenos valores, enseñanzas éticas, humanísticas y morales.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos/as, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles.

*Luis Miguel Romero Manzanares*

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia un agradecimiento muy especial a mis padres Miguel Romero Román y Maritza Manzanares Matamoros, quienes me han brindado su ejemplo de humildad, superación, sacrificio y apoyo, permitiéndome de esta manera la formación académica y culminar con éxito una meta más en mi vida.

A mi directora de tesis *PhD.* Mirian Irene Capa Morocho por su apoyo, tiempo, conocimientos brindados y orientación en el transcurso de la carrera y en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros Iter, Cristina, Oscar, y Jefferson por concederme momentos de alegría durante la carrera universitaria y ofrecerme su amistad incondicional y apoyo absoluto en mi formación académica y desarrollo de tesis.

Por último, doy las gracias a la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja por abrirme las puertas. Así, mismo a los maestros que fueron parte de mi formación académica.

***Luis Miguel Romero Manzanares***

## INDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS.....	II
AUTORÍA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
INDICE DE CONTENIDOS.....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	IX
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE ANEXOS .....	XI
1. TITULO.....	1
2. RESUMEN .....	2
2.1. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN .....	4
a. Objetivo General.....	5
b. Objetivos específicos.....	5
4. MARCO TEÓRICO.....	6
a. Tomate ( <i>S. lycopersicum</i> ).....	6
i. Origen.....	6
ii. Importancia.....	6
iii. Taxonomía.....	7
iv. Morfología.....	7
v. Fenología del cultivo .....	8
vi. Requerimientos nutricionales .....	8
vii. Requerimientos edafoclimáticos.....	9
viii. Requerimientos hídricos de <i>S. lycopersicum</i> .....	9
ix. <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> .....	10
b. Micorrizas.....	10
i. ¿Qué son las micorrizas? .....	10
ii. Funciones de las micorrizas.....	11
iii. Tipos de micorrizas .....	12

iv. Beneficios de la aplicación de micorrizas .....	12
5. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
a. Ubicación del experimento.....	13
b. Diseño experimental.....	14
c. Esquema de campo.....	14
d. Preparación y manejo del cultivo .....	15
e. Metodología para el primer objetivo: Definir la dosis y momento óptimo de aplicación de micorrizas que permita un mayor crecimiento vegetativo y rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> bajo invernadero. ....	16
f. Metodología para el segundo objetivo: Determinar si el uso de micorrizas influye en las propiedades químicas del suelo, en el sector La Argelia, Loja. ....	17
g. Análisis de datos.....	18
6. RESULTADOS.....	19
a. Crecimiento vegetativo y rendimiento. ....	19
b. Propiedades químicas del suelo.....	24
7. DISCUSIÓN .....	26
8. CONCLUSIONES .....	30
9. RECOMENDACIONES.....	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
11. ANEXOS.....	37

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del ensayo.....	13
<b>Figura 2.</b> Diseño del experimento en el invernadero.....	14
<b>Figura 3.</b> Días a la formación del primer racimo floral (%) después del trasplante en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	19
<b>Figura 4.</b> Altura de plantas de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	20
<b>Figura 5.</b> Diámetro del tallo de plantas de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	20
<b>Figura 6.</b> Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en PPS en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	21
<b>Figura 7.</b> Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en el peso del fruto de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	22
<b>Figura 8.</b> Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en el rendimiento de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	23
<b>Figura 9.</b> Efecto de la aplicación de micorrizas y el control (sin micorrizas) sobre el pH de suelo en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	25
<b>Figura 10.</b> Efecto de micorrizas en la conductividad eléctrica del suelo en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	25

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requerimientos hídricos en el cultivo de tomate bajo casa malla.....	9
<b>Tabla 2.</b> Principales funciones de las micorrizas en simbiosis con las plantas.....	11
<b>Tabla 3.</b> Área foliar y peso de planta en fresco en <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> .....	21
<b>Tabla 4.</b> Número de frutos racimo <sup>-1</sup> en <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	22
<b>Tabla 5.</b> Efecto de la aplicación de micorrizas en diferentes momentos en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	24
<b>Tabla 6.</b> Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en el pH del suelo.....	24
<b>Tabla 7.</b> Efectos de micorrizas aplicadas en diferentes momentos en la composición química del suelo, en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> , bajo invernadero.....	26
<b>Tabla 8.</b> Soluciones nutritivas y dosis empleadas en el cultivo de <i>S. lycopersicum</i> var. <i>elpida</i> bajo invernadero.....	42
<b>Tabla 9.</b> Medias y contrastes en las variables que presentan diferencias significativas.....	43
<b>Tabla 10.</b> Insecticidas y fungicidas aplicados en el control de plagas y enfermedades.....	44

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Análisis de suelo inicial donde se efectuó el experimento.....	37
<b>Anexo 2.</b> Fotografías.....	39
<b>Anexo 3.</b> Fertilizantes y dosis aplicadas.....	42
<b>Anexo 4.</b> Medias y contrastes estadísticos.....	43
<b>Anexo 5.</b> Insumos utilizados en el experimento.....	44
<b>Anexo 6.</b> Certificación de traducción Abstract.....	45

**Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja**

## 2. RESUMEN

El tomate riñón es una hortaliza que expresa su potencial en presencia de una apropiada nutrición mineral, por lo que el agricultor emplea fertilizantes de una forma desmedida, lo que ha ocasionado efectos negativos en el suelo, limitando la absorción de nutrientes por parte de la planta. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) permiten a las plantas una mayor eficiencia del uso de los recursos del suelo. Además, la simbiosis que establecen entre planta-microorganismo podría contribuir a la tolerancia de condiciones bióticas y abióticas del suelo. En el presente trabajo se evaluó el efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *S. lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja. Se aplicaron tres dosis de micorrizas al momento del trasplante (50 kg/ha, 100 kg/ha y 150 kg/ha) y de forma fraccionada (trasplante y 30 DDT) más un control (sin micorrizas). La dosis de micorrizas de 150 kg/ha aplicada en dos momentos presentó una floración temprana y rendimientos superiores 102 t/ha. No existieron diferencias significativas en lo que corresponde a altura de planta, diámetro del tallo, área foliar, número de frutos por racimos y peso de planta en fresco, pero se observó un efecto de la aplicación de micorrizas en dos momentos en: peso de planta en fresco y peso de planta en seco. El peso del fruto se mostró mayor en los tratamientos con micorrizas. En las propiedades químicas del suelo como son conductividad eléctrica, calcio, fósforo, carbono orgánico y materia orgánica no manifestaron diferencias significativas a excepción del pH, que sí mostró diferencia en los tratamientos con micorrizas (5,2) en comparación con el control (4,87). La inoculación de micorrizas en tomate puede proporcionar un mayor peso del fruto, incrementar el rendimiento y disminuir el impacto de los fertilizantes en el suelo, lo que mejorará la sostenibilidad agrícola.

**Palabras claves:** HMA, rendimiento, sostenibilidad, *S. lycopersicum* var. *elipida*.

## 2.1. ABSTRACT

Kidney tomato is a vegetable that shows its potential when it gets appropriate mineral nutrition, this is a reason why farmers use an excessive number of fertilizers which has caused negative effects on the ground, limiting the absorption of the nutrients by the plant. Arbuscular Mycorrhizae Fungi (AMF) allow plants to have greater efficiency in the use of soil resources. Additionally, the symbiosis process established between plant-microorganism could contribute to the tolerance of biotic and abiotic ground conditions. This work, it was evaluated the fact of three doses of mycorrhizae at different application times in the production of *S. lycopersicum* in the greenhouse. The project was carried out in La Argelia, Loja. Three doses of mycorrhizae were applied during the transplantation time (50 kg/ha, 100 kg/ha 150 kg/ha) and fractionally (transplant and 30 ADT) plus a control (without mycorrhizae). The dose of mycorrhizae of 150 kg/ha that was applied in two moments, showed flowering and higher yields, of 102 t/ha. There were no significant differences between plant height stem diameter, leaf area, number of fruits per cluster, or fresh plant weight, but there was observed an effect in the application of mycorrhizae at two times fresh plant weight a dry plant weight. Fruit weight was higher in the treatments in which mycorrhizae was used the chemical properties of the soil such as electrical conductivity, calcium, phosphorus, organic carbon, and organic matter did not show significant differences except for pH, which showed it in mycorrhizae treatments (5.2) compared to the control (4.87). The inoculation of mycorrhizae in tomato provides a higher food weight, increase yield and reduce the impact of fertilizers on the ground, which will improve agricultural sustainability.

**Key words:** AMF, performance, sustainability, *S. lycopersicum* var. *elpida*.

### 3. INTRODUCCIÓN

El tomate de mesa es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, se adapta a diferentes ecosistemas, es de gran aporte nutricional, y es sustento económico para medianos y pequeños productores (Burbano y Vallejo, 2017; Alarcón *et al.*, 2020). Por tanto, es un producto fundamental en la canasta básica y tiene un gran valor para la agricultura nacional. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2021) señala que en el país se cultivan 2 530 ha de tomate riñón (fruta fresca) con una producción de 35 904 t y un rendimiento de 14,56 t ha<sup>-1</sup>. En la provincia de Loja se ha cultivado en diferentes escenarios (al aire libre y bajo cubierta), la superficie plantada de tomate riñón es de 4 ha y presenta una producción de 236 t con un rendimiento de 54,55 t ha<sup>-1</sup> (SIPA, 2021).

El tomate expresa su potencial en presencia de una apropiada nutrición mineral, sus efectos positivos se reflejan en el crecimiento, rendimiento y calidad (Morejon *et al.*, 2017), por lo que el productor emplea gran cantidad de fertilizantes para asegurar su producción, lo que ha ocasionado efectos negativos en el suelo (salinización, acidez, compactación, disminución de la actividad microbiana), limitando de esta manera la absorción de nutrientes por parte de la planta (Alarcón *et al.*, 2020). Por tanto, desde el punto de vista ecológico sus sistemas tradicionales de cultivo serán cada vez menos sostenibles, debido a los efectos negativos producidos en el suelo (Collazo, 2015).

El uso de microorganismos benéficos ha mostrado efectos favorables en varios sistemas de producción agrícola. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se encuentran entre los organismos del suelo más amplios que colonizan las raíces de las plantas (Chialva *et al.*, 2019); incrementan la absorción de nutrientes minerales y agua, debido al aumento de volumen de suelo explorado a través de la extensión de sus hifas, mayor a las raicillas del hospedero (Vuelta *et al.*, 2020). Además, favorecen la tolerancia de las plantas a condiciones abióticas y bióticas de estrés tales como: exceso de acidez en los suelos, salinidad, altas temperaturas, exceso o déficit de humedad, contaminación por metales pesados, toxicidad por Al<sup>3+</sup> y presencia de patógenos en el suelo (Chitarra *et al.*, 2016; Dar *et al.*, 2017; Mathimaran *et al.*, 2017). La aplicación de HMA contribuyen con el aumento de la productividad de los cultivos, la regeneración de comunidades vegetales degradadas y el mantenimiento del equilibrio del ecosistema (Aguilar *et al.*, 2016).

Para establecerse la interacción planta-microorganismo las plantas emiten señales bioquímicas relacionadas con compuestos volátiles que forman parte de los exudados de las raíces (CO<sub>2</sub>),

jugando un papel fundamental en la simbiosis (Arango *et al.*, 2011). Durante el establecimiento se producen modificaciones en la planta, tanto bioquímicas como fisiológicas, incluyendo la síntesis de compuestos que estimulan el crecimiento de las hifas del hongo en el suelo, lo que incrementa la superficie de absorción, así como la traslocación de nutrientes y agua del hongo a la planta (Mujica *et al.*, 2014).

La presente investigación busca contribuir con información relevante a los productores que trabajan en condiciones protegidas, a obtener una mayor eficiencia de sus cultivos mediante el empleo de HMA, de esta manera procurando incrementar el rendimiento y calidad del cultivo sin afectar las propiedades del suelo. Además, podría contribuir en la disminución de la aplicación de agroquímicos ayudando a reducir la contaminación ambiental.

#### **a. Objetivo General**

- Evaluar el efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *S. lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja.

#### **b. Objetivos específicos**

- Definir la dosis y momento óptimo de aplicación de micorrizas que permita un mayor crecimiento vegetativo y rendimiento de *S. lycopersicum* bajo invernadero.
- Determinar si el uso de micorrizas influye en las propiedades químicas del suelo, en el sector La Argelia, Loja.

## 4. MARCO TEÓRICO

### a. Tomate (*S. lycopersicum*)

#### i. Origen

El tomate riñón (*S. lycopersicum* L.) según Bonilla y Ortiz (2014) es originario de América del Sur de la planicie costera occidental, pero se cree que en México fue su centro de domesticación. Anuradha *et al.* (2020) argumenta que el tomate es originario de América del Sur, cuyo origen se encuentra en la región de los Andes (Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia), donde se localiza la mayor variabilidad genética, de la familia de las solanáceas es el más cultivado.

#### ii. Importancia

El tomate (*S. lycopersicum*) es una de las hortalizas más importantes en el mundo debido a las ganancias económicas que produce su comercialización (Délices, 2019). Además, por su volumen de producción, como por su aceptación en fresco, salsas, sopas, procesado, entre otras, representa un producto fundamental para la dieta humana (Reyes *et al.*, 2020).

Actualmente, se ha demostrado que el tomate se encuentra asociado con la prevención de enfermedades de tipo cardiovasculares y carcinogénicas, ya que posee un alto contenido de antioxidantes tales como; flavonoides, licopeno, vitaminas C y A (Delgado y Luna, 2014).

En el país se cultivan alrededor de 2 530 ha de tomate riñón (fruta fresca), presenta una producción de 35 904 t y un rendimiento de 14,56 t ha<sup>-1</sup> (MAG, 2021). En la provincia de Loja es una de las hortalizas de mayor consumo, se la ha venido cultivando desde muchos años, en diferentes escenarios (al aire libre y bajo condiciones controladas), ubicados principalmente en el sector de Catamayo y en menor proporción en otros sectores de la provincia. La superficie plantada de tomate riñón es de 4 ha, muestra una producción de 236 t con un rendimiento de 54,55 t ha<sup>-1</sup>, y ostenta un gran aporte económico para los medianos y pequeños agricultores (SIPA, 2021).

### iii. Taxonomía

Semillaria (2015), indica la taxonomía del tomate riñón de la siguiente forma:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Asteridae
- Orden: Solanales
- Familia: Solanaceae
- Género: *Solanum*
- Especie: *lycopersicum*

### iv. Morfología

Según López (2017) la morfología de la planta se muestra de la siguiente forma:

- **Raíz:** constituida por raíz principal, raíces secundarias y adventicias; estas últimas son numerosas y potentes y no superan los 30 cm de profundidad.
- **Tallo:** es grueso, pubescente, anguloso y de color verde, mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. Del tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares.
- **Hojas:** son pinnadas y compuestas, presenta de siete a nueve folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y por lo general de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y cenicento por el envés.
- **Flor:** Es perfecta y regular, sus sépalos, pétalos y los estambres se insertan en la base del ovario. El cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color amarillo, que se encuentran dispuestos de forma helicoidal. Poseen cinco o seis estambres que se alternan con los pétalos, formando los órganos reproductivos. El ovario tiene dos o más segmentos. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, se ubican en las axilas, cada dos o tres hojas.

- **Fruto:** Es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y cuando madura es rojo. El fruto contiene semillas que tienen un tamaño promedio de 2 mm. Son ovoides, comprimidas, lisas o muy velludas, parduzcas y están embebidas en una abundante masa mucilaginosa. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal.

#### **v. Fenología del cultivo**

Díaz *et al.* (2018), manifiesta que la fenología del cultivo de tomate (*S. lycopersicum* L.) se presenta de la siguiente manera.

- Fase inicial: comienza con la germinación de la semilla, a partir de la siembra hasta los 21 días. Se caracteriza por un rápido aumento de la materia seca, la planta invierte su energía en la síntesis de nuevos tejidos de absorción y fotosíntesis.
- Fase vegetativa: continua de la fase inicial y termina con la floración, entre los 50 y 55 días. En esta fase se muestra un aumento en materia seca más lento, requiere de mayores cantidades de nutrientes para compensar las necesidades de las hojas y ramas en crecimiento y expansión.
- Fase reproductiva: Dura entre 30 a 40 días aproximadamente, inicia con la formación del fruto.

#### **vi. Requerimientos nutricionales**

Para producir una tonelada de frutos la planta de tomate requiere un promedio de nitrógeno de 2,1 a 3,8 kg, fósforo 0,3 a 0,7 kg, potasio 4,4 a 7,0 kg, calcio 1,2 a 3,2 kg y magnesio de 0,3 a 1,1 kg (Castilla, 1995).

## vii. Requerimientos edafoclimáticos

Monardes (2009), establece que el cultivo de tomate riñón requiere las siguientes condiciones:

- Clima: cálido a frío moderado.
- Altitud: 0 a 3000 msnm.
- Temperaturas: entre 21 °C a 27 °C.
- Humedad: 60% a 80%.

Acosta (2016), describe que la planta para que exprese su potencial genético de producción y calidad, requiere de condiciones climáticas específicas durante las fases de desarrollo.

- Textura: Franco arenosa.
- pH: 5,5 a 6,8.
- Tipo de suelo: Profundos (1 m o más), permeables, con buen drenaje y abundante materia orgánica (MO), en estado avanzado de humificación (Allende, 2017).

## viii. Requerimientos hídricos de *S. lycopersicum*

La frecuencia del riego y duración dependen de la etapa fenológica del cultivo, genotipo, tipo de suelo y de los factores ambientales (temperatura, intensidad de la radiación solar, humedad relativa). Menciona SAGARPA (2014) que la humedad en el suelo se debe mantener entre 15 a 20 centibares, considerando la fase fenológica del cultivo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Requerimientos hídricos en el cultivo de tomate bajo casa malla.

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	Agua aplicada (l/m <sup>2</sup> /día)
1	Enraizamiento	2,76
2-5	1 <sup>er</sup> a 4 <sup>to</sup> racimo floral	3,70
6	5 <sup>to</sup> racimo floral	3,70
7-9	6 <sup>to</sup> racimo floral	4,98
10-11	7 <sup>mo</sup> a 8 <sup>vo</sup> racimo floral	5,01
12-15	Inicio de cosecha	5,18

16-17	Cosecha	5,18
18-20	Cosecha	5,18
21-22	Cosecha	5,18
24-25	Cosecha	5,18
34	Cosecha	5,18

---

### ix. *S. lycopersicum* var. *elpida*

La variedad *elpida* es redonda, medianamente precoz, presenta elevado contenido de grados brix y bajo pH, muestra un alto potencial bajo invernadero. Además, tiene una pérdida de firmeza lenta y, por tanto, es una buena opción para la duración en anaquel (Gabriel *et al.*, 2016).

*Elpida* es un híbrido precoz de crecimiento constante y vigoroso que se adapta a un amplio tipo de climas, de bajo mantenimiento y de rendimiento alto. Es una planta fuerte con entrenudos cortos, sus frutos son redondos, de color rojo vivo, de alta calidad con buena vida útil y con un peso de 220 a 260 gr. Además, la planta presenta resistencia al Virus del Mosaico del tomate, *Verticilium* spp, *Fusarium oxisporum*, *Oidio* spp, *Meloidogyne arenaria*, *Meloidogyne incognita* y *Meloidogyne javanica* (ENZA ZADEN, 2014).

## b. Micorrizas

### i. ¿Qué son las micorrizas?

La palabra micorriza se origina de los vocablos griegos *mycos* (hongo) y *rrhiza* (raíz). Los HMA son microorganismos que pueden vivir en asociación simbiótica entre las raíces de las plantas y cierto grupo de hongos habitantes naturales del suelo. El hongo simbionte mutualista es incapaz de realizar fotosíntesis, por tanto, recibe carbohidratos de la planta, y a cambio el hongo ofrece a la planta varios beneficios reflejados en su crecimiento, nutrición y sanidad (Rivillas *et al.*, 2019).

Las MA pertenecen a un grupo de hongos del suelo naturales, dentro de la división taxonómica Glomeromycota, que se compone de cinco órdenes diferentes, 15 familias, 38 géneros, entre los

que se destacan *Acaulospora* spp., *Gigaspora* spp., *Glomus* spp., *Sclerocystis* spp., y *Scutellospora* spp., con alrededor de 280 especies dentro de ellos (Jobim y Goto, 2016).

## ii. Funciones de las micorrizas

En la Tabla 2 se pueden observar las funciones primordiales que cumplen los HMA cuando se encuentran en simbiosis con raíces de las plantas.

**Tabla 2.** Principales funciones de las micorrizas en simbiosis con las plantas.

Funciones	Servicios ecosistémicos que proveen
- Amplían la captación de minerales y absorben el carbono que procede de la planta.	- Promueve el crecimiento de las plantas y disminuyen la demanda de fertilizantes.
- Los HMA secretan “glomalina”, sustancia capaz de agrupar minerales y materia orgánica, contribuyendo en la estabilidad de agregados, e infiltración de agua en el suelo.	- Aumento en la consistencia del suelo y retención de agua.
- Desarrollan una red de micelio en el suelo modificando la morfología de la raíz.	- Incremento en el sistema planta/suelo en la adhesión y estabilidad del suelo (acción de agregar y mejorar la estructura del suelo).
- Moderan los efectos contra el estrés causado por factores abióticos (agua, luz, temperatura, etc).	- Mayor resistencia de las plantas a la sequía, salinidad, metales pesados, contaminación y deficiencia de nutrimentos minerales.
- Preservan la raíz contra el ataque de patógenos.	- Aumento en la resistencia de la planta contra el estrés causado por factores bióticos.
- Modifican la fisiología y el metabolismo de las plantas.	- Protección y conservación de la biodiversidad.

**Fuente:** (Neri y Villarreal, 2012).

### **iii. Tipos de micorrizas**

Las micorrizas se distinguen entre dos grandes grupos, las ectomicorrizas y las endomicorrizas, entre las que priman las micorrizas arbusculares. La distinción se efectúa en función del desarrollo de las hifas del hongo, ya sea en el exterior o interior de las células corticales de la raíz (Diaz *et al.*, 2016).

#### ***i. Ectomicorrizas o micorrizas ectotróficas***

Son aquellos hongos que, en simbiosis mutualista con las plantas, las hifas cubren las radículas formando una especie de manto fuera de los espacios intercelulares, pero se unen a las células corticales de la raíz. El extremo de una raíz ectomicorrizada típicamente está cubierto por un manto de hifas, extendiéndose desde el mismo una red de hifas entre las primeras capas de células de la corteza radical y rara vez llegan hasta la endodermis, pero sin entrar en el interior de las células, de aquí el nombre de ectomicorrizas. El sistema complejo que forman las ectomicorrizas se llama “Red de Hartig” donde las hifas pueden tener formas muy variadas (Faria *et al.*, 2017).

#### ***ii. Endomicorrizas***

Se caracterizan por la penetración del hongo intracelularmente, la ausencia de manto y las acentuadas modificaciones anatómicas en las raíces no visibles a simple vista (Heredia, 2020).

### **iv. Beneficios de la aplicación de micorrizas**

Los HMA al encontrarse relacionados en simbiosis con las plantas promueven el crecimiento vegetativo y aumenta el rendimiento en cultivos básicos. Además, provocan un mejoramiento de la nutrición mineral, tolerancia a sequías, control de patógenos (ayudan a reducir los daños originados por plagas, como los nematodos, o por hongos patógenos), y biorremediación en asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno y leguminosas, como *Leucaena leucocephala*. De tal manera, su uso en la agricultura puede disminuir costos de producción y contribuir a una producción más sustentable (Almaguer *et al.*, 2015).

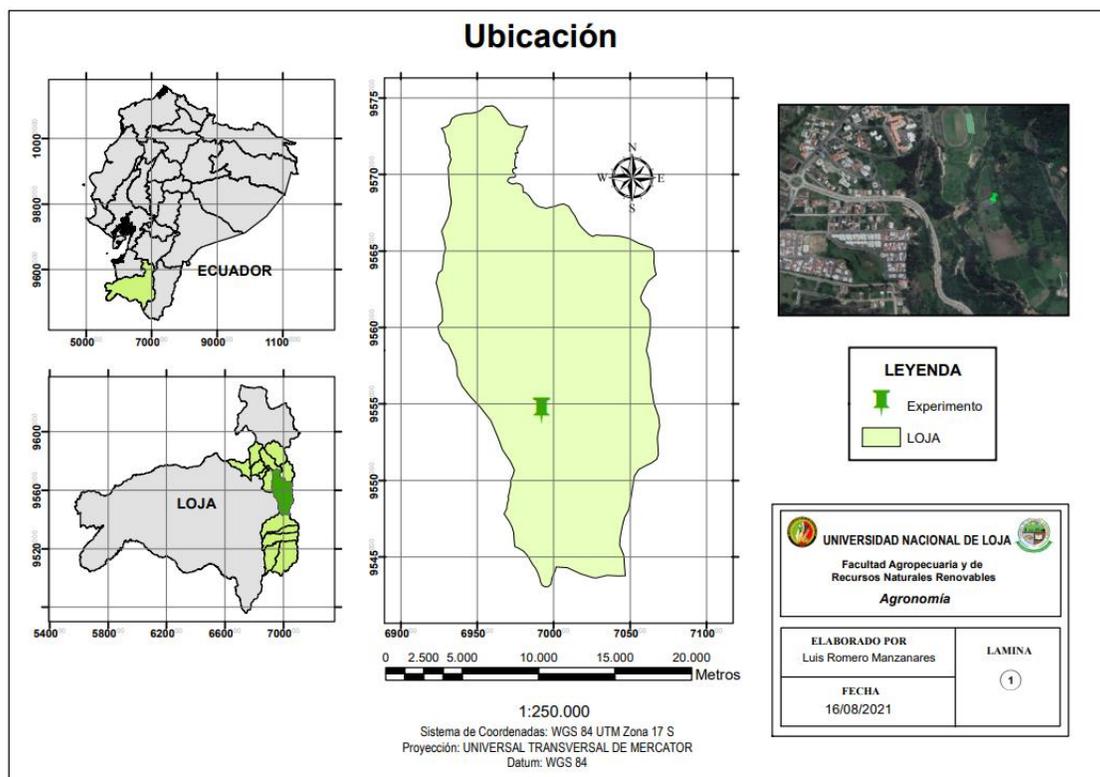
Los HMA aumentan el nivel de movilización de fósforo, iones poco móviles (ácido fosfórico, amoníaco, zinc, cobre) y nutrientes del suelo al aumentar la superficie de absorción de la raíz, por medio de un sistema de hifas extrarradicales (Garzón, 2016). Además, ayudan a reducir los daños

ocasionados por erosión y a preservar la estructura mediante la producción de micelio y sustancias adherentes (Lozano *et al.*, 2015), como es la secreción de “glomalina”, una sustancia capaz de aglutinar minerales y materia orgánica, contribuyendo en la estabilidad de agregados, e infiltración de agua en el suelo (Rivillas *et al.*, 2019).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### a. Ubicación del experimento

La investigación se desarrolló en la Quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja; la cual se encuentra ubicada en el sector La Argelia, al sur de la ciudad de Loja (Figura 1). Geográficamente se localiza a una latitud de 4° 02` 17`` Sur, una longitud de 79° 11` 54`` Oeste y una altitud de 2 154 msnm. Las temperaturas medias son de 16,4°C, con precipitaciones anuales de 1 848,1 mm, humedad relativa media 78 % y una velocidad del viento media 3 Km h<sup>-1</sup> (INAMHI, 2017).



**Figura 1.** Ubicación del ensayo.

## b. Diseño experimental

El ensayo se realizó bajo un diseño completamente al azar (DCA), con dos factores de estudio: factor A (dosis de micorrizas: 50, 100 y 150 kg/ha), y el factor B (momentos de aplicación de micorrizas: trasplante y 30 días después del trasplante) y un control (sin aplicación de micorrizas). Se empleó siete tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, con un total de 28 unidades experimentales. La distancia del trasplante fue de 0,30 m entre planta, en parcelas de 3,0 m de largo por 0,75 m de ancho (2,25 m<sup>2</sup>), con un total de 10 plantas parcela<sup>-1</sup>.

## c. Esquema de campo

El esquema de campo se lo realizó conforme se muestra en la Figura 2:

**T1:** 50 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante.

**T2:** 25 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante y 25 kg/ha después de 30 días del trasplante.

**T3:** 100 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante.

**T4:** 50 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante y 50 kg/ha después de 30 días del trasplante.

**T5:** 150 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante.

**T6:** 75 kg/ha de micorrizas al momento del trasplante y 75 kg/ha después de 30 días del trasplante.

**T7:** Control (sin micorrizas).

REP 1. T1	REP 2. T2	REP 3. T3	REP 4. T4
REP 1. T2	REP 2. T3	REP 3. T4	REP 4. T5
REP 1. T3	REP 2. T4	REP 3. T5	REP 4. T6
REP 1. T4	REP 2. T5	REP 3. T6	REP 4. T7
REP 1. T5	REP 2. T6	REP 3. T7	REP 4. T1
REP 1. T6	REP 2. T7	REP 3. T1	REP 4. T2
REP 1. T7	REP 2. T1	REP 3. T2	REP 4. T3
Parcelas: 3,0 m de largo.			

Figura 2. Diseño del experimento en el invernadero.

#### **d. Preparación y manejo del cultivo**

Antes del establecimiento del cultivo se efectuó un análisis de suelo para conocer la disponibilidad de nutrientes (Anexo 1). En el ensayo se utilizó semilla de tomate riñón variedad *elpida*. Se realizó controles de arvenses de forma manual, tratamientos fitosanitarios con insumos químicos (Anexo 5) cuando el cultivo lo requería (se efectuaron controles quincenales), y la fertilización se aplicó en base a los requerimientos del cultivo que sugiere Castilla (1995) y considerando la fase fenológica del cultivo (Anexo 3). Además, el riego se lo realizó de forma localizada mediante goteo, considerando las condiciones ambientales, tipo de suelo, requerimientos hídricos y fase fenológica del cultivo. A los 25 días después del trasplante (DDT) se regó con dosis de 200 a 500 ml/planta/día; en la etapa dos de 26 a 65 DDT se aplicó 1 000 ml/planta/día y para la etapa tres ( $\geq$  66 DDT) se utilizó 1 500 ml/planta/día.

En lo que respecta a manejo del cultivo, también se efectuaron podas sanitarias y poda de chupones (Anexo 2). Además, se eliminó la dominancia apical a partir del quinto racimo dejando dos hojas en la parte superior del racimo.

En la preparación del suelo se realizó camas de 0,25 m de altura y 13 m de largo. La densidad de siembra fue de 24 691 plantas/ha, con un marco de plantación de 0,3 m entre planta y 1,35 m entre hilera.

Para la inoculación de micorrizas se procedió a pesar las diferentes dosis de ORGEVIT (producto sólido) 2g = 440 esporas (T1), 1g = 220 esporas (T2), 4 g= 880 esporas (T3), 2g = 440 esporas (T4), 6 g= 1 320 esporas (T5), 3 g= 660 esporas (T6), y 0 g (T7); la aplicación se la efectuó de forma manual en cada planta alrededor de la raíz (Anexo 2).

Dentro del invernadero se presentaron promedios de temperatura mínima de 14,6 °C, 24,4 °C de temperatura media y 34,0 °C de temperatura máxima.

**e. Metodología para el primer objetivo: Definir la dosis y momento óptimo de aplicación de micorrizas que permita un mayor crecimiento vegetativo y rendimiento de *S. lycopersicum* bajo invernadero**

Las variables que se evaluaron son:

***Área foliar (AF)***

El área foliar se estimó en dos plantas por repetición, en base a la fórmula de Reis *et al.* (2013):  $AF = C * L * f$ ; donde C: largo de hoja, L: ancho de hoja y f: factor 0,59. Se midió las hojas de toda la planta, de la parte más distal de cada simpodio, una vez terminada la expansión foliar (118 DDT).

***Altura de la planta (AP) y diámetro del tallo (DT)***

La altura de la planta y el diámetro del tallo fueron evaluados con flexómetro y calibrador cada semana a partir del trasplante, por un periodo de 80 días. Estas medidas fueron tomadas de cuatro plantas seleccionadas al azar por repetición.

***Días a la formación de primer racimo (DFPR)***

Se lo midió en cada unidad experimental (floración de todas las plantas del tratamiento) por el método de observación y conteo, desde el día del trasplante hasta la formación del primer racimo floral.

***Número de frutos racimo<sup>-1</sup> (NFR)***

Se contabilizó el número de frutos por racimo de tres plantas por repetición de cada tratamiento, al finalizar la cosecha por el método de observación y conteo.

***Peso de fruto (PF)***

Se realizó utilizando una balanza gramera (SF400), se pesó todos los frutos de cuatro plantas de cada repetición de los tratamientos evaluados y se promedió para obtener un resultado por repetición.

### ***Rendimiento (R)***

El rendimiento del cultivo se determinó en cada cosecha por el peso de los frutos (t/área) en cuatro unidades de muestreo de cada repetición (Beltrán *et al.*, 2020) y se estimó la producción por hectárea. El tiempo de evaluación fue de 98 días, hasta el quinto racimo.

### ***Peso planta (fresco y en seco) (PP)***

El peso fue tomado siguiendo lo mencionado por Alarcón (2020); pesando la planta al final de la cosecha con una balanza analítica (g), desde el cuello hacia arriba, se tomó una planta por repetición de los tratamientos evaluados.

El peso seco de las plantas (g) se lo consiguió siguiendo el proceso de Rodríguez *et al.* (2020); se eligió una planta por tratamiento y repetición al final de la cosecha, se realizó un secado en estufa (Memmert) a 65 °C hasta masa constante y se efectuó el pesaje en balanza analítica.

## **f. Metodología para el segundo objetivo: Determinar si el uso de micorrizas influye en las propiedades químicas del suelo, en el sector La Argelia, Loja**

Las variables que se analizaron fueron:

### ***pH***

El pH se lo determinó en el Laboratorio de Aguas, Suelos, y Bromatología mediante el método potenciométrico en dos momentos, antes de la siembra y a los 132 DDT. Se tomó 100 gramos (g) de suelo por cada unidad experimental y se lo expresó en moles/l (H<sup>+</sup>). Para la determinación de pH se utilizó una relación de 1: 2,5, es decir, por cada ml de suelo se aplicó 2,5 ml de agua desionizada.

### ***Conductividad eléctrica (CE)***

La conductividad eléctrica se evaluó en el laboratorio por el método del conductímetro en extracto de saturación en dos momentos, antes de la siembra y a los 132 DDT. Los datos se expresaron en dS/m.

### ***Materia orgánica (MO) y Carbono orgánico (CO)***

La materia orgánica y carbono se los determinó en el laboratorio por el método de Walkley y Black (1934) antes de la siembra y a los 132 DDT, se lo expresó en porcentaje y se midió con el colorímetro.

### ***Fosforo (P) y calcio (Ca)***

Para la determinación del fosforo y calcio se envió las muestras de suelo al laboratorio de análisis de suelos y aguas de la Estación Experimental Santa Catalina antes de la siembra y a los 132 DDT. Para el análisis de fosforo utilizaron la metodología de Olsen modificado como extractante con el análisis colorimétrico y el calcio lo obtuvieron mediante Espectrofometría de Absorción Atómica.

### **g. Análisis de datos**

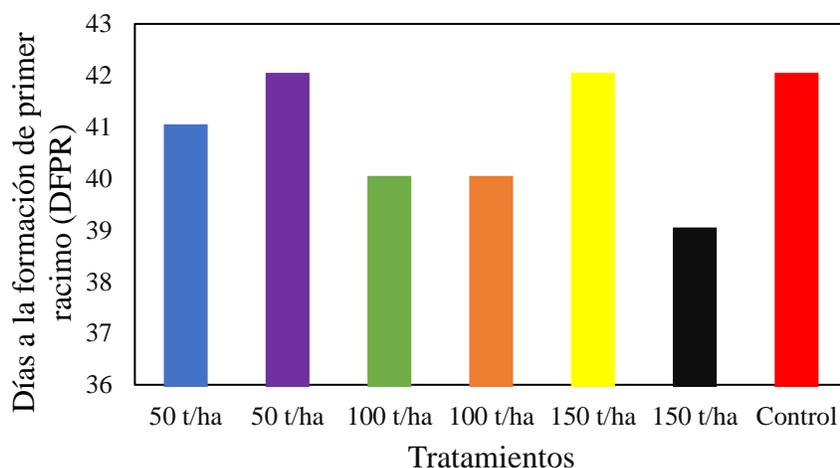
Se efectuó un análisis mediante un software estadístico (Infostat versión libre 2022). Antes de procesar los datos se efectuó un análisis de supuestos. Luego se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del  $\leq 5\%$ . Para la comparación múltiple de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Tukey con un nivel de confianza de 95%. En el análisis del efecto de las dosis de micorrizas y los momentos de aplicación se utilizó un análisis de contraste polinomial: 1) Aplicación de micorrizas (50, 100 y 150 kg/ha) vs. Control (0 micorrizas), 2) Aplicación de micorrizas al trasplante vs. Aplicación de micorrizas en dos momentos, 3) Dosis de micorrizas 50 kg/ha aplicado al trasplante vs. Dosis de micorrizas de 100 y 150 kg/ha aplicados al trasplante, 4) Dosis de micorrizas de 100 kg/ha aplicados al trasplante vs. Dosis de micorrizas de 150 kg/ha aplicados al trasplante, 5) Dosis de micorrizas 50 kg/ha aplicado en dos momentos vs. Dosis de micorrizas de 100 y 150 kg/ha aplicados en dos momentos, 6) Dosis de micorrizas de 100 kg/ha aplicados en dos momentos vs. Dosis de micorrizas de 150 kg/ha aplicados en dos momentos.

## 6. RESULTADOS

### a. Crecimiento vegetativo y rendimiento

#### i. Días a la formación de primer racimo (DFPR)

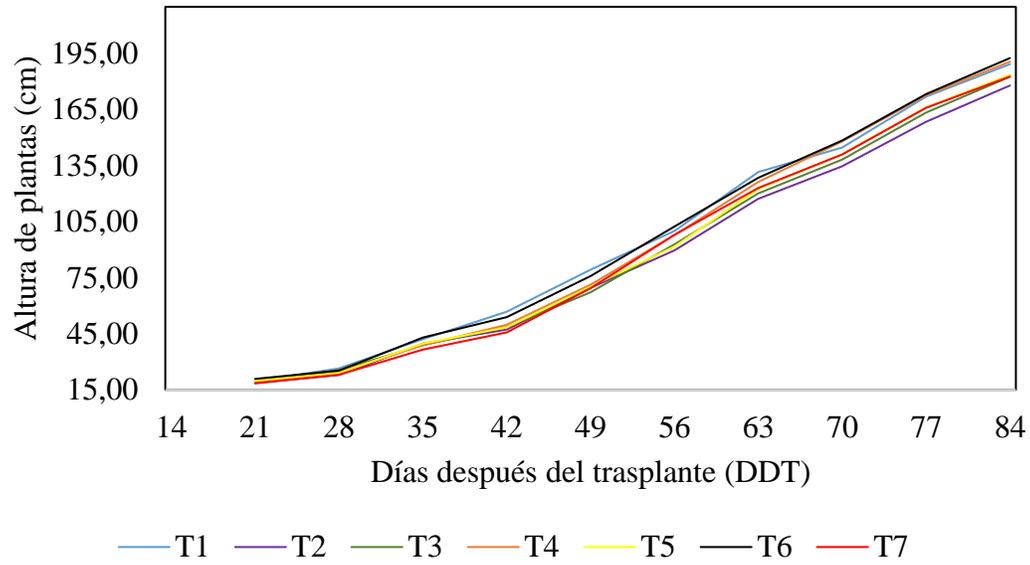
En la Figura 3, se muestra la curva de días a la formación del primer racimo (DFPR) bajo la aplicación de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos, donde se puede apreciar que el promedio de días de inicio de floración en el primer racimo fluctuó entre 39 y 42 DDT. Además, se manifiesta que el T6 (tratamiento 6: 150 kg/ha en dos momentos) obtuvo la formación del primer racimo floral en un lapso de tiempo menor 39 DDT, mientras que el T7 (control) alcanzó la formación del primer racimo floral a los 42 DDT.



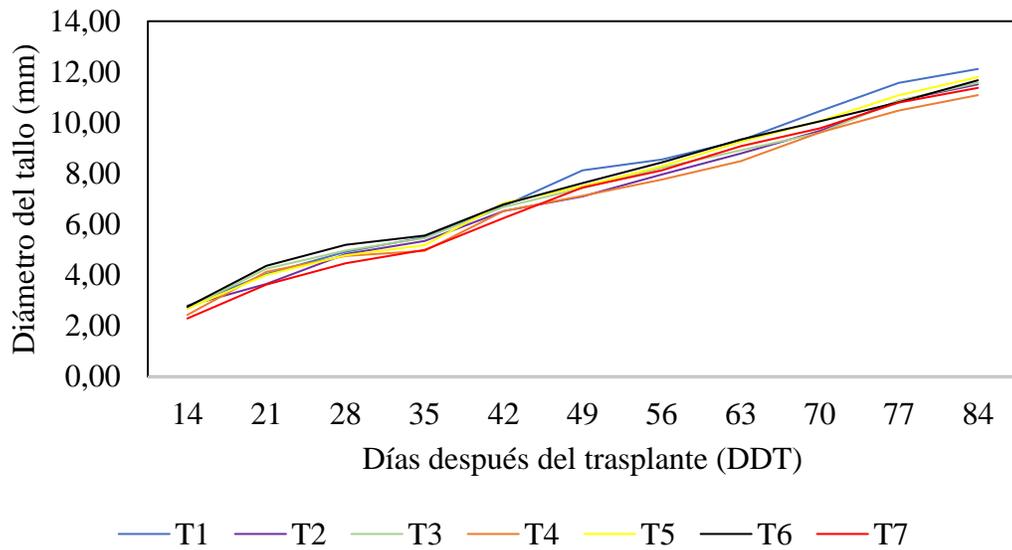
**Figura 3.** Días a la formación del primer racimo floral después del trasplante en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

#### ii. Altura de la planta (AP) y diámetro del tallo (DT)

En lo que concierne a altura de planta (Figura 4) y diámetro del tallo (Figura 5), la dosis y momentos de aplicación de micorrizas, no presentaron diferencias significativas ( $p$ -valor > 0,05) y todos los tratamientos mostraron una dinámica de crecimiento similar. Al final el ensayo se alcanzó alturas promedio de 201,04 cm y 11,59 mm en diámetro del tallo.



**Figura 4.** Altura de plantas de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.



**Figura 5.** Diámetro del tallo de plantas de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

**iii. Área foliar (AF), peso planta en fresco (PPF)**

En los resultados mostrados en la Tabla 3 se puede apreciar que no existen diferencias significativas en lo que corresponde a área foliar y peso de planta en fresco. El área foliar promedio en fase de

producción (118 DDT) fue de 2,31 m<sup>2</sup>, mientras que la materia fresca consiguió un peso de 1001,39 g por planta.

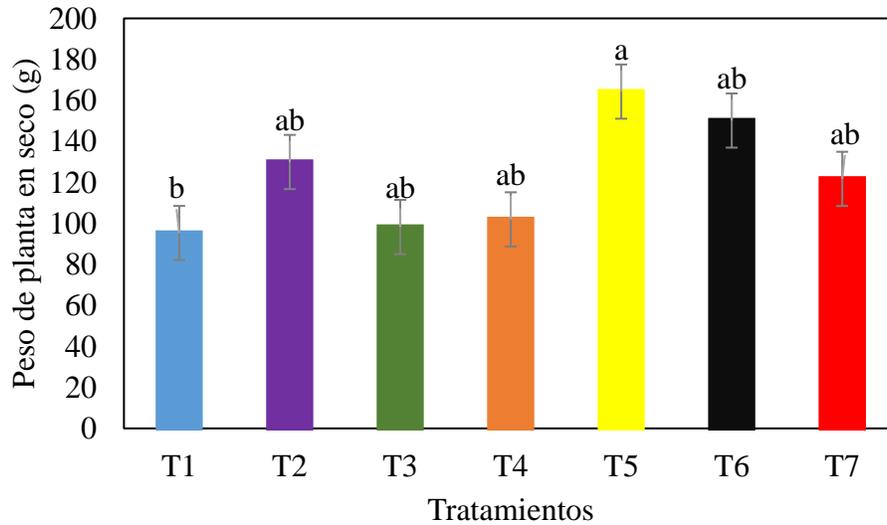
**Tabla 3.** Área foliar y peso de planta en fresco en *S. lycopersicum* var. *elpida*.

Variables	Tratamientos							P-valor
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
AF (m <sup>2</sup> )	2,5 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	0,6169
PPF (g)	794,4 <sup>ns</sup>	1065,4 <sup>ns</sup>	826,4 <sup>ns</sup>	913,3 <sup>ns</sup>	1293,5 <sup>ns</sup>	1164,3 <sup>ns</sup>	952,4 <sup>ns</sup>	0,0655

ns: no significativo (P-valor >0,05).

**iv. Peso de planta en seco (PPS)**

En alusión al PPS se manifiestan diferencias significativas ( $p\text{-valor} = 0,0197$ ) entre los tratamientos. El T5 que corresponde a la aplicación de 150 kg/ha de micorrizas en un momento es el que presenta un mayor PPS (164,8 g) en comparación con el T1 (Dosis de 50 kg/ha aplicados al momento de trasplante) que muestra un PPS menor (95,31 g) (Figura 6).



**Figura 6.** Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en PPS en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

v. *Número de frutos racimo<sup>-1</sup> (NFR)*

En lo que respecta NFR se comprobó que no hay diferencias significativas (Tabla 4) entre los tratamientos aplicados ( $p$ -valor  $>0,05$ ). En promedio cada racimo estaba conformado por 6 frutos.

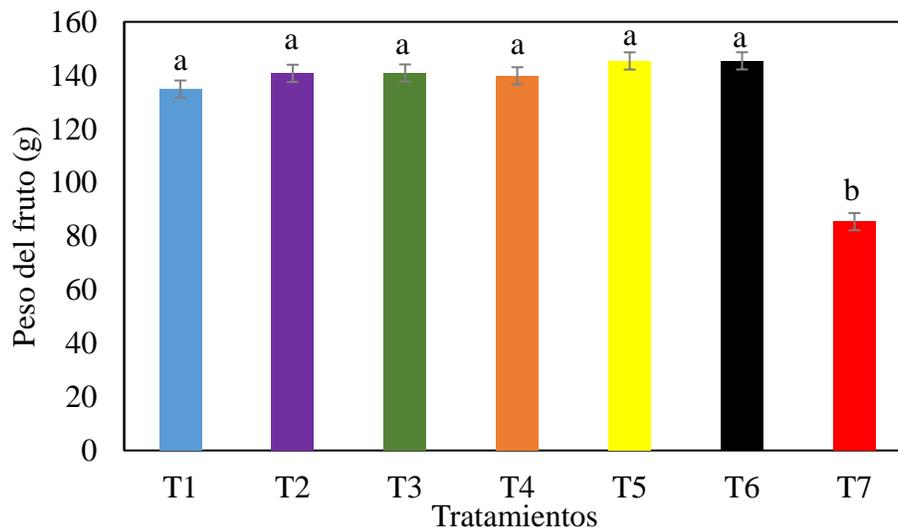
**Tabla 4.** Número de frutos racimo<sup>-1</sup> en *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero, en Loja.

Variables	Tratamientos							P- Valor
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
Racimo 1	5,3 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	5,6 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>	0,7108
Racimo 2	5,9 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>ns</sup>	5,4 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	0,2781
Racimo 3	6,1 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	6,4 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	0,966
Racimo 4	5,8 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	5,7 <sup>ns</sup>	5,8 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	6,1 <sup>ns</sup>	0,5796
Racimo 5	6,0 <sup>ns</sup>	5,3 <sup>ns</sup>	5,9 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	6,0 <sup>ns</sup>	6,3 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>ns</sup>	0,3868

*ns*: no significativo ( $P$ -valor  $>0,05$ ).

vi. *Peso del fruto (PF)*

El peso del fruto muestra diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,0001$ ) entre los tratamientos y el control. Los tratamientos con micorrizas presentan un peso promedio que varía de 134,91 a 145,44 g y el control muestra los pesos más bajos (85,42 g) (Figura 7).

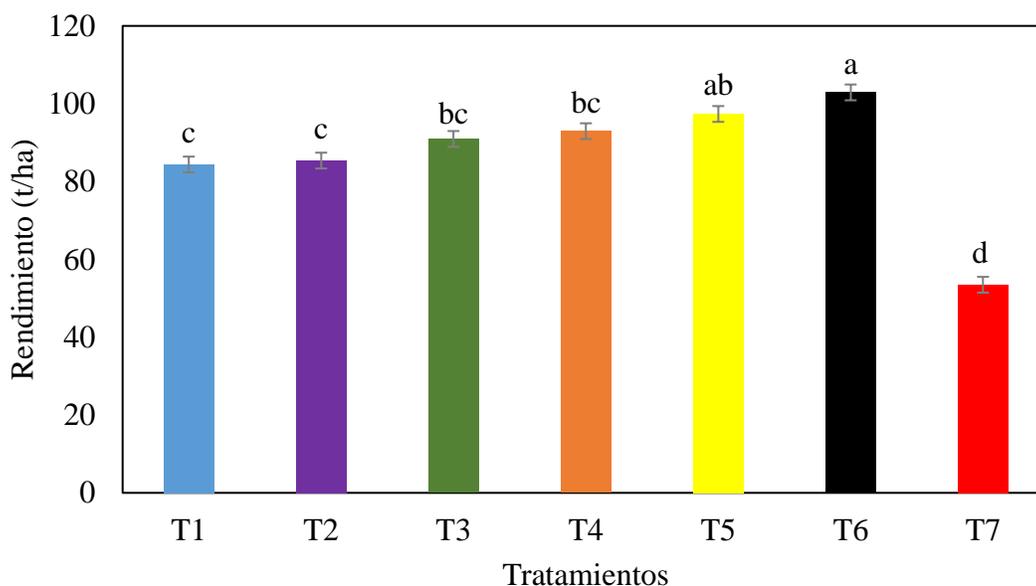


**Figura 7.** Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en el peso del fruto de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

S.

### vii. Rendimiento (R)

En la Figura 8 se aprecia que el rendimiento de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo diferentes dosis y momentos de aplicación presenta diferencias significativas entre los tratamientos y el control ( $p$ -valor < 0,0001). El rendimiento obtenido con los tratamientos con micorrizas varió entre 84,37 y 102 t/ha, mientras que el control presentó el valor más bajo con 53,47 t/ha. El mayor rendimiento se alcanzó con el T6 que corresponde a la aplicación de 150 kg/ha de micorrizas y fraccionado en dos aplicaciones.



**Figura 8.** Efecto de dosis y momentos de aplicación de micorrizas en el rendimiento de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

### viii. Análisis de contrastes polinomial

Al efectuar un análisis de contrastes (Anexo 4), en las variables de peso de planta en fresco (PPF), peso de planta en seco (PPS) y rendimiento (R) se muestra que existen diferencias significativas en los momentos de aplicación de micorrizas, mostrándose valores superiores al aplicar las micorrizas en dos momentos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Efecto de la aplicación de micorrizas en diferentes momentos en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

Variables	Momentos de aplicación		P-Valor
	1	2	
Peso promedio de planta en fresco (g)	941,44 <sup>b</sup>	1 047,68 <sup>a</sup>	0,027
Peso promedio de planta en seco (g)	119,28 <sup>b</sup>	127,36 <sup>a</sup>	0,016
Rendimiento promedio (t/ha)	90,89 <sup>b</sup>	93,74 <sup>a</sup>	> 0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

## b. Propiedades químicas del suelo

### i. pH de suelo

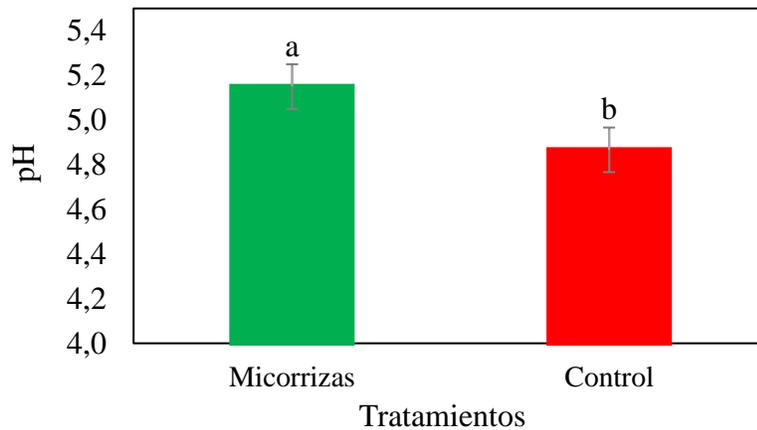
La variable pH del suelo no presentó diferencias entre los tratamientos, sin embargo, se observa una tendencia ( $p$ -valor = 0,0919) entre la aplicación de micorrizas y el control (Anexo 4).

**Tabla 6.** Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en el pH del suelo.

Tratamiento	Medias
1	5,35 <sup>ns</sup>
5	5,17 <sup>ns</sup>
4	5,13 <sup>ns</sup>
3	5,13 <sup>ns</sup>
2	5,10 <sup>ns</sup>
6	5,07 <sup>ns</sup>
7	4,87 <sup>ns</sup>

ns: no significativo ( $P$ -valor  $> 0,05$ ).

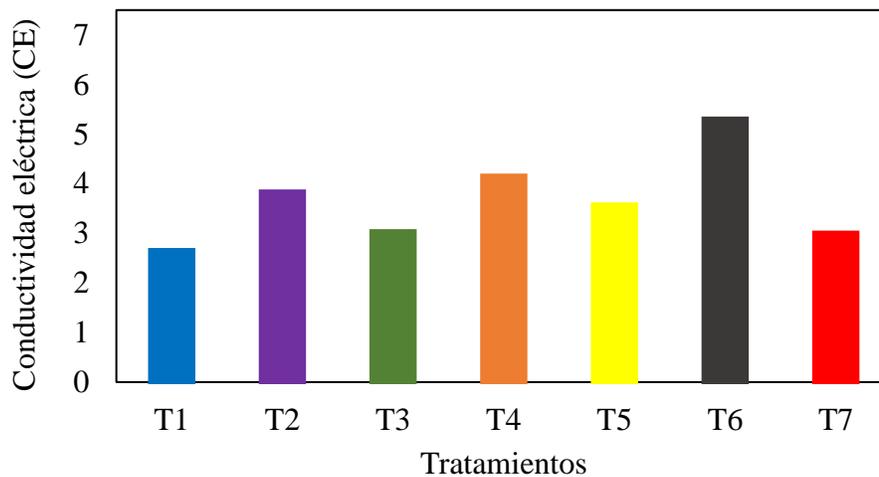
El valor de pH inicial del suelo fue de 5,62 (Anexo 1). El análisis de contraste entre los tratamientos con micorrizas y el control mostró que, la aplicación de micorrizas influye significativamente en el pH del suelo ( $p$ -valor = 0,0084). El control presentó valores de pH más bajos (4,87) en comparación con la aplicación de micorrizas (5,2) (Figura 9). Las dosis y momentos de aplicación no influyeron en este parámetro (Anexo 4).



**Figura 9.** Efecto de la aplicación de micorrizas y el control (sin micorrizas) sobre el pH de suelo en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

**ii. Conductividad eléctrica (CE)**

El análisis de datos de CE no presentó un efecto de la aplicación de micorrizas en la conductividad eléctrica del suelo (*p*-valor 0,4595) en el cultivo de tomate bajo invernadero (Figura 10). La CE varió entre 2,65 y 5,3 dS/m.



**Figura 10.** Efecto de micorrizas en la conductividad eléctrica del suelo en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

iii. **Contenidos nutricionales del suelo: Calcio (Ca), fósforo (P), materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO)**

Las concentraciones de Ca, P, CO y MO en el suelo no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 7). El suelo, al final del ensayo, presentó una concentración promedio de 8,17 meq/100g de Ca, 59,64 ppm de P, mientras que las concentraciones de CO y MO fueron de 3,40 % y 6,44 % respectivamente.

**Tabla 7.** Efectos de micorrizas aplicadas en diferentes momentos en la composición química del suelo, en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida*, bajo invernadero.

Variables	Tratamientos							P-valor
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
Ca								
(meq/100 g)	7,55 <sup>ns</sup>	9,88 <sup>ns</sup>	8,35 <sup>ns</sup>	7,97 <sup>ns</sup>	8,06 <sup>ns</sup>	8,90 <sup>ns</sup>	6,51 <sup>ns</sup>	0,2275
P (ppm)	65,5 <sup>ns</sup>	53,0 <sup>ns</sup>	62,0 <sup>ns</sup>	59,7 <sup>ns</sup>	62,3 <sup>ns</sup>	61,0 <sup>ns</sup>	54,0 <sup>ns</sup>	0,9920
CO (%)	3,12 <sup>ns</sup>	3,39 <sup>ns</sup>	3,51 <sup>ns</sup>	3,64 <sup>ns</sup>	3,53 <sup>ns</sup>	3,32 <sup>ns</sup>	3,27 <sup>ns</sup>	0,2704
MO (%)	5,91 <sup>ns</sup>	6,42 <sup>ns</sup>	6,65 <sup>ns</sup>	6,9 <sup>ns</sup>	6,69 <sup>ns</sup>	6,29 <sup>ns</sup>	6,2 <sup>ns</sup>	0,2785

ns: no significativo ( $P$ -valor >0,05).

## 7. DISCUSIÓN

El promedio de días a la formación del primer racimo (DFPR) fue entre 39 y 42 DDT, en donde se demuestra que al aplicar micorrizas en dosis elevadas y en distintas frecuencias (150 kg/ha en dos momentos) se alcanza una floración en un periodo de tiempo menor (39 DDT), a diferencia del control (T7), que inicia la floración de su primer racimo a los 42 DDT. Cabrera *et al.* (2021) mencionan que al usar micorrizas en pimiento ayuda a promover la absorción de nutrientes y minerales, de tal manera, se estimula la aparición de flores en un lapso de tiempo más corto. Así mismo, Alarcón *et al.* (2020) corroboran que al aplicar micorrizas en distintos momentos se muestra un mayor apareamiento de flores. Resultados similares reportaron Bona *et al.* (2017) y Gao *et al.* (2020), quienes indican que los beneficios de los HMA son la floración temprana en los cultivos.

Con lo que respecta a altura de planta (AP) y diámetro del tallo (DT) no se presentaron diferencias significativas al final del ensayo y todos los tratamientos mostraron una dinámica de crecimiento similar. El promedio de AP fue de 201,04 cm y el DT de 11,59 mm. Ley-Rivas *et al.* (2015) argumentan que las plantas de tomate inoculadas con HMA y el control al final del experimento (90 y 120 días DDT) no mostraron diferencias significativas en lo que concierne a AP y DT, resultados que coinciden con lo reportado en el cultivo de tomate por Morales *et al.* (2018). También corroboran Alonso *et al.* (2013) que en la variable AP no existieron efectos al inocular HMA en *Capsicum annuum*.

En lo que corresponde a área foliar (AF) no se encontraron diferencias significativas. Reportan Falcón *et al.* (2015) que en el cultivo de majagua se encontraron resultados similares a los obtenidos en este estudio. En lo que concierne al peso de planta en fresco (PPF) no se encontraron diferencias significativas. Sin embargo, se mostró un efecto en los momentos de aplicación de las micorrizas. Al realizar una sola aplicación se obtuvo los PPF más bajos (971,44 g/planta), mientras que con dos aplicaciones de micorrizas se obtuvieron los valores más altos (1047,68 g/planta). Salmerón y Medina (2009) manifiestan que el peso fresco más alto en la planta de sandía lo obtuvieron al aplicar HMA al momento de la siembra+trasplante+15 DDT, entonces nos demuestra que al aplicar HMA en varias frecuencias se obtiene un mayor PPF.

En alusión al peso de planta en seco (PPS) se manifiestan diferencias significativas ( $p\text{-valor} = 0,0197$ ) entre los tratamientos. El T5 es el que presenta un mayor PPS (164,8 g) en comparación con el T1 que muestra un PPS menor (95,31 g). Charles y Martín (2015) indican que el aumento de materia seca se encuentra relacionado con la presencia de HMA; las cuales podría tener efectos positivos en el incremento de la concentración de las hormonas (ácido indol 3-acético y el ácido giberélico) en la planta de tomate. Así mismo, Stoffel *et al.* (2020) señalan que aplicando dosis altas de inoculante micorrízico arbuscular existen aumentos significativos en la biomasa seca del maíz. La aplicación de HMA en varios momentos influye significativamente en el PPS. Al colocar las micorrizas una sola vez se muestra un PPS promedio de 119,28 g/planta y al aplicarlas en dos frecuencias se obtiene un peso promedio mayor de 127,36 g/planta. Estos resultados son corroborados por Tamayo *et al.* (2021), quienes al realizar la inoculación de micorrizas en el cultivo de tomate al momento de la siembra y 30 días después se incrementó la biomasa seca.

En lo que respecta número de frutos por racimo (NFR) se comprobó que no hay diferencias significativas entre los tratamientos aplicados y el control. Resultados que coinciden con Vera (2017), quien afirma que no presentó diferencias significativas en el número de frutos de tomate bajo invernadero. Ziane *et al.* (2021) discrepa con los resultados obtenidos, menciona que el número de frutos se incrementó en las plantas inoculadas con HMA.

El peso del fruto (PF) muestra diferencias significativas entre los tratamientos (peso 134,91 a 145,44 g) y el control (85,42 g). Vuelta *et al.* (2020) y Alvarado *et al.* (2014) corroboran que al usar HMA se obtiene un mayor PF en el cultivo de tomate. Por otra parte, Ramos *et al.* (2013) indican que al utilizar microorganismos rizosféricos como biofertilizantes sobre el PF permite mitigar la fertilización mineral en un 25%. La capacidad de los HMA en simbiosis con la planta permite una mayor absorción de nutrientes al ocurrir de forma sinérgica y simultánea; desde el suelo los hongos transfieren fósforo y nutrientes al cultivo, por lo que se genera asimilados para su desarrollo endófito, por ende, se mejora el paso de nutrientes y agua por las rutas metabólicas, y como beneficio se adquiere un incremento en el PF (Rabie *et al.*, 2005).

El rendimiento de *S. lycopersicum* var. *elpada* bajo diferentes dosis y momentos de aplicación presenta diferencias significativas entre los tratamientos y el control. Los seis tratamientos con micorrizas presentaron un rendimiento que varió entre 84,37 y 102 t/ha y el control mostró un valor de 53,47 t/ha. Felipez y Ortuño (2021) indican que con la aplicación de micorrizas el rendimiento de papa es superior. Pacheco *et al.* (2018) mencionan que los pelos radicales pueden poner a disposición de sus raicillas a 2 mm de la epidermis agua y nutrientes, mientras que las hifas de los HMA tienen un alcance de hasta 80 mm, es decir, la misma raicilla puede explorar un volumen de suelo superior (hasta 40 veces mayor), traduciéndose este efecto a un incremento en los rendimientos del fruto.

El mejor rendimiento se encuentra en el T6 (150 kg/ha en dos momentos) con un valor de 102,9 t/ha. También se logró observar que los momentos de aplicación de micorrizas muestran efecto significativo en el rendimiento de tomate, acrecentándose en un 3% al realizarlo en dos momentos. Alarcón *et al.* (2020) también muestran rendimientos altos en plantas de tomate al emplear HMA en diferentes frecuencias. Martínez *et al.* (2007) manifiestan que cuando los niveles de fertilización son altos o incluso utilizando un 50% de fertilizantes requeridos la micorrización es inhibida y a medida que disminuye el nivel de fertilización el porcentaje de micorrización aumenta, por lo que

es conveniente efectuar varias aplicaciones HMA, considerando una dosis elevada de inóculo para reflejar mejores resultados en el rendimiento. Rivera *et al.* (2006) corroboran que es fundamental recalcar que el manejo de suministro de minerales permite a los HMA una mayor eficiencia en la absorción.

En la variable pH del suelo no se presentó diferencias entre los tratamientos, sin embargo, se observa diferencias significativas entre la aplicación de micorrizas (pH= 5,20) y el control (pH= 4,87). Velasco *et al.* (2016) mencionan que los HMA proporcionan estabilidad en el pH del suelo. Lozano *et al.* (2015) corroboran que las micorrizas generan redes amplias de micelio, agrupando pequeñas partículas que se conectan con hifas y restos vegetales, produciendo una acción mecánica sobre la MO. Rodríguez *et al.* (2016) reportan que las isoenzimas anhidrasa carbónica (AC) detectadas en raíces micorrizadas pueden influir en la regulación del pH.

En lo que concierne a CE, Ca, P, MO y CO no se presentaron diferencias significativas con la aplicación de micorrizas. Días *et al.* (2014) mencionan que los valores de pH, CE, P y K en el suelo cultivado con sorgo fueron similares estadísticamente entre los tratamientos con fertilización e inoculación con HMA. Los resultados en este estudio discrepan con los reportados por Mujica *et al.* (2016), quienes indican que hay un efecto positivo del P del suelo con las micorrizas y que varía de acuerdo a la concentración del mismo. Bunch *et al.* (2013) mencionan que las condiciones del suelo influyen en la micorrización de las orquídeas. Jiménez *et al.* (2019) afirman que los HMA permitieron una mayor acumulación de N, P, K en la planta de maíz forrajero. Fall *et al.* (2022) corroboran que los HMA son importantes en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos (Intervienen en la degradación de desechos) del P, N y C. Domínguez *et al.*, (2016) nos exponen que los oligoelementos participan en las actividades enzimáticas implicadas en la fotosíntesis, la respiración oxidativa y la biosíntesis de lípidos. Se conoce que los HMA contribuyen en una mejor absorción de oligoelementos con baja movilidad en los suelos, como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cobalto (Co) (Hashem *et al.*, 2018). Sin embargo, Liu *et al.* (2000) revelan que algunos elementos pueden estar presentes en cantidades altas y poseen un carácter tóxico, por lo que las micorrizas desempeñan un papel esencial en la protección de la planta.

Carosio (2017) afirma que existe una relación positiva de la MO con los HMA, ya que debido al aumento de MO en el suelo se mejora la estructura del mismo, se incrementa la retención de

humedad y se aumenta los nutrientes, lo que beneficiaría la simbiosis entre el hongo y raíz de la planta hospedera. Islas *et al.* (2014) también nos revelan que a mayor contenido de CO en el suelo la población de HMA se acrecienta.

## 8. CONCLUSIONES

- La dosis de 150 kg/ha de micorrizas aplicado en dos momentos favorece la floración del primer racimo en las plantas de tomate, mostrándose en un lapso de tiempo de 39 DDT.
- No existieron diferencias significativas en lo que corresponde a AP, DT, AF, NFR, PPF en los tratamientos aplicados, sin embargo, se mostró un efecto en los momentos de aplicación de HMA en PPF, alcanzando mayor PPF al realizar dos aplicaciones de micorrizas.
- Los tratamientos con micorrizas presentaron mayor PPS en relación al control, destacándose la aplicación de 150 kg/ha al trasplante.
- Los tratamientos inoculados con micorrizas alcanzaron un PF de 134,91 a 145,44 g, a diferencia del control que obtuvo un PF de 85,42 g. Sin embargo, el rendimiento se presentó mayor en el T6 102,9 t/ha y el T5 97,36 t/ha.
- Las micorrizas no influyen en las propiedades químicas del suelo (CE, Ca, P, CO Y MO) a excepción del pH, que se mostró mayor en los tratamientos con micorrizas 5,2 frente al control 4,87.

## 9. RECOMENDACIONES

- Efectuar un estudio microbiológico del suelo para conocer en cual tratamiento se presentó una mayor cantidad de esporas.
- Realizar un análisis bromatológico para saber si las micorrizas influyen en la calidad del fruto de tomate.
- Realizar una aplicación de HMA en diferentes cultivos para conocer si tienen los mismos resultados o eso difiere entre plantas.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. (2016). Evaluación del comportamiento agronómico de nuevos híbridos de tomate hortícola "*Lycopersicum esculentum*" bajo cubierta plástica. Universidad Técnica de Ambato. Cevallos-Ecuador. 89 p. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/19038>
- Aguilar, W., Arce, P., Galiano, F., y Torres, T. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha*, 29 (Suppl. 3), 5-14.
- Alarcón, J., Recharte, D., Yanqui, F., Moreno, S., y Buendía, M. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73.
- Allende, M. (2017). Manual del cultivo de tomate bajo invernadero. INIA. Santiago de Chile-Chile. 212 p. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12%20Manual%20de%20Tomate%20Invernadero.pdf>
- Almaguer, G., Ayala, A., y Tepantlán, C. (2015). Los usos y beneficios de las micorrizas en la agricultura. Plaza y Valdez (Eds.), Desarrollo y tecnología. Aportaciones a los problemas de la sociedad (pp. 243-259). Editorial@plazayvaldez.com
- Alonso, R., Aguilera, L., Rubí, M., González, A., Olalde, V., y Rivas, I. (2013). Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum* L. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 77-88.
- Arango, M., Nazareno, M., y Ruscitti, M. (2011). Micorrizas arbusculares: biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). ISBN: 978-987-8348-41-4
- Alvarado, M., Díaz, A., y Peña del Río, M. (2014). Tomato productivity by arbuscular mycorrhizal in protected agriculture. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 513-518.
- Beltrán, F., García, E., Reyes, J., Rivero, M., y Ruiz, F. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., y Berta, G. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: a field study. *Mycorrhiza*, 27(1), 1-11.
- Bunch, W., Cowden, C., Wurzburger, N., y Shefferson, R. (2013). Geography and soil chemistry drive the distribution of fungal associations in lady's slipper orchid, *Cypripedium acaule*. *Botany*, 91(12), 850-856.
- Burbano, E., y Vallejo, F. (2017). Producción de líneas de tomate "chonto", *Solanum lycopersicum* Mill., con expresión del gen *sp* responsable del crecimiento determinado. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 63-71.

- Cabrera, G., y Tapuy, J. (2021). “Evaluación de tres dosis de micorrizas en el cultivo de pimiento (*capsicum annuum*) en el cantón la Maná”. UTC. La Maná. 68 p
- Carosio, M. (2017). *Relación de los hongos formadores de micorrizas respecto de las variables fisicoquímicas de suelos de Mendoza cultivados con tomate para industria* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias).
- Castilla, N. (1995). Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: El cultivo de tomate (Nuez. F, Ed). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Charles, N., y Martín, N. (2015). Management and use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and earth worm humus in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under protected system. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 55-64.
- Chialva, M., Fangel, J., Novero, M., Zouari, I., di Fossalunga, A., Willats, W., Bonfante, P., y Balestrini, R. (2019). Understanding Changes in Tomato Cell Walls in Roots and Fruits: The Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Colonization. *International journal of molecular sciences*, 20(2), 415.
- Chitarra, W., Pagliarani, C., Maserti, B., Lumini, E., Siciliano, I., Cascone, P., Schubert, A., Gambino, G., Balestrini, R., y Guerrieri, E. (2016). Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on tomato tolerance to water stress. *Plant Physiology*, 171:1-15.
- Collazo, E., Ley-Rivas, J., Sánchez, J., Ricardo, N. (2015). Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense*, 39(1),47-59.
- Dar, M.H., Resh, Z.A., y Shah, M.A. (2017). Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal (VAM) Fungi as a major biocontrol agent in modern sustainable agriculture system. *Russian Agricultural Sciences*, 43(2):132-137.
- Delgado, A., y Luna, M. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18 (1), 51-66.
- Délices, G., Leyva, O., Mota, C., Núñez, R., Gámez, R., Meza, P., y Serna, R. (2019). Biogeography of tomato *Solanum lycopersicum* var. *cerasiform* (Solanaceae) in its center of origin (South America) and domestication (Mexico). *Revista de Biología Tropical*, 67(4), 1023-1036.
- Díaz, A., Salinas, J., Espinosa, F., Peña, M., Requena, F., y Grageda, O. (2014). Características de planta, suelo y productividad entre sorgo fertilizado e inoculado con micorriza arbuscular. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 379-390.
- Díaz, G., Torres, P., Sánchez, F., García, G., y Carrillo, C. (2016). Primeras tesis doctorales sobre micorrizas. *Eubacteria* (36), 39-42.
- Díaz, L., Larín, M., y Serrano, R. (2018). Guía técnica del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” (CENTA). Recuperado de [http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa\\_Tomate%202019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf)

- Dominguez, J., Benito, B., Berrocal, M., y Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture* (pp. 77-98). Springer, New Delhi.
- ENZA ZADEN. (2014). Vegetable seed catalogue. Enkuizen, The Netherlands. Recuperado de [https://www.arg-agro.com.ar/product\\_info.php/tomate-elpida-precoz-indeterminado-frutos-p-1013](https://www.arg-agro.com.ar/product_info.php/tomate-elpida-precoz-indeterminado-frutos-p-1013).
- Falcón, E., Rodríguez, O., y Rodríguez, Y. (2015). Aplicación combinada de micorriza y FitoMas-E en plantas de *Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell (Majagua). *Cultivos Tropicales*, 36(4), 35-42.
- Fall, A., Nakabonge, G., Ssekandi, J., Founoune-Mboup, H., Apori, S., Ndiaye, A., y Ngom, K. (2022). Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Fertility: Contribution in the Improvement of Physical, Chemical, and Biological Properties of the Soil. *Frontiers in Fungal Biology*, 3.
- Faria, A., Monteiro, P., y Auer, C., y Ângelo, A., (2017). Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. *Ciência Florestal* 27(1): 21-29.
- Felipez, D., y Ortuño, N. (2021). La micorriza arbuscular (*Glomus fasciculatum*) en la absorción simbiótica de fósforo con variedades de papa nativa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 25(1), 21-38.
- Gao, X., Guo, H., Zhang, Q., Guo, H., Zhang, L., Zhang, C., y Zeng, F. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhanced the growth, yield, fiber quality and phosphorus regulation in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Garzón, L. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul (On Line)*, (42), 217 - 234.
- Gabriel, J., Angulo, A., Velasco, J., y Guzmán, R. (2016). Adaptación de híbridos de tomate indeterminado [*Solanum lycopersicum* L. (Mill.)] bajo condiciones de invernadero. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2), 47-65.
- Hashem, A., Alqarawi, A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A., Aldehaish, H., Egamberdieva, D., y Abd\_Allah, E. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi journal of biological sciences*, 25(6), 1102-1114.
- Heredia, G. (2020). La importancia de los hongos (Fungi) en los servicios ecosistémicos. *Bioagrociencias* 13(2): 98-108.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). Anuario meteorológico № 53-2013. [en línea]. Recuperado de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf)
- Islas, A., Eyherabide, M., Echeverría, H., Rozas, H., y Covacevich, F. (2014). Capacidad micotrófica y eficiencia de consorcios con hongos micorrícicos nativos de suelos de la provincia de Buenos Aires con manejo contrastante. *Revista argentina de microbiología*, 46(2), 133-143.

- Jiménez, M., Gómez, R., Oliva, J., Granados, L., Pat, J., y Aranda, E. (2019). Influencia del estiércol compostado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia*, 11(23), 00009.
- Jobim K., y Goto B. (2016). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in maritime sand dunes of Brazilian northeast. *Studies in Fungi* 1(1): 43–55.
- Ley-Rivas, J., Sánchez, J., Ricardo, N., y Collazo, E. (2015). Efecto de Cuatro Especies de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en la Producción de Frutos de Tomate. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 47-59.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R., Ma, B., y Smith, D. (2000). Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 9(6), 331-336.
- Lozano, J., Armbrrecht, I., y Montoya, J. (2015). Hongos formadores de micorrizas arbusculares y su efecto sobre la estructura de los suelos en fincas con manejos agroecológicos e intensivos. *Acta Agronómica*, 64(4), 289-296.
- López, L. (2017). Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*). San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). San José, Costa Rica. ISBN 978-9968-586-27-6
- Martínez, D., Barroetaveña, C., y Rajchenberg, M. (2007). Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque (Valdivia)*, 28(3), 226-233.
- Mathimaran, N., Sharma, M. P., Mohan Raju, B., y Bagyaraj, D. J. (2017). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and drought tolerance in crop plants. *Mycosphere*, 8:361-376
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021). *Cifras agro productivas* [en línea]. Recuperado de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Monardes, H. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill). Obtenido de [http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua\\_Cultivo\\_tomate.pdf](http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf)
- Morales, D., Rodríguez, L., Dell'Amico, J., Jerez, E., y Estrada, W. (2018). Efecto de dos bioestimulantes y hongos micorrízicos en plantas de tomate sembradas a altas temperaturas. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 41-48.
- Morejon, M., Herrera, J., Ayra, C., González, P., Rivera, R., Fernández, Y., Peña, E., Téllez, P., Noval, C., y Noval, B. (2017). Alternativas en la nutrición del maíz transgénico FR-Bt1 de (*Zea mays* L.): respuesta en crecimiento, desarrollo y producción. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 146-155.
- Mujica, Y., Mena, A., Medina, A., y Rosales, P. (2014). Respuesta de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la biofertilización líquida con *Glomus cubense*. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 21-26.
- Mujica, M., Saez, N., Cisternas, M., Manzano, M., Armesto, J., y Pérez, F. (2016). Relationship between soil nutrients and mycorrhizal associations of two *Bipinnula* species (Orchidaceae) from central Chile. *Annals of botany*, 118(1), 149-158.

- Neri, C., y Villareal, L. (2012). Simbiosis micorrícica: un análisis de su relevante función ecosistémica y en la provisión de servicios ambientales. En F. Huerta, y L. Castro, *Interacciones ecológicas* (pp. 37-62). Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Pacheco, N., Abreu, D., y Bode, O. (2018). Efecto de tres cepas de hongos micorrizógenos arbusculares+ 50% de NPK en el rendimiento agrícola del cultivo del tomate (*solanum lycopersicum* L.) municipio Las Tunas. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 9(28), 286-305.
- Rabie, G., Aboul, M. y Al-Humiany, A. (2005). Aumento de la tolerancia a la salinidad de las plantas de caupí mediante la inoculación dual de un hongo micorrícico arbuscular *Glomus clarum* y un fijador de nitrógeno *Azospirillum brasilense*. *Micobiología*, 33 (1), 51-60.
- Ramos, L., Reyna, Y., Lescaille, J., Telo, L., Arozarena, N., Ramírez, M., y Martín, G. (2013). Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*, 34(1), 05-10.
- Reis, S., Azevedo, C., Alburquerque, W., y Junior, F. (2013). Índice de área foliar e productividad do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 386-391.
- Reyes, J., Rivero, M., García, E., Beltrán, F., y Ruiz, F. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotechnia*, 22(3), 156-163.
- Rivera, R., Ruiz, L., Fernández, F., Sánchez, C., Riera, M., Hernández, A., y Planas, R. (2006). La simbiosis micorrízica efectiva y el sistema suelo-planta-fertilizante. In *Memorias VI Congreso Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*.
- Rivillas, C., Calle, C., y Ángel, C. (2019). Micorrizas Arbusculares. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 52–79). *Cenicafé*. [https://doi.org/10.38141/10791/0005\\_3](https://doi.org/10.38141/10791/0005_3)
- Rodríguez, Y., Chiriboga, R., Concha, E., y Lara, R. (2016). Actividad anhidrasa carbónica en micorrizas arbusculares. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 60-65.
- Rodríguez, J., Pérez, A., Ortega, L, y Arteaga, M. (2020). Estudio hidrosostenible en el cultivo del tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto. *Cultivos Tropicales*, 41(2).
- Salmerón, N., y Medina, W. (2009). *Estudio preliminar del efecto de diferentes dosis y momentos de aplicación de micorrizas vesículo arbusculares (MVA), sobre el desarrollo fenológico en el cultivo de sandía (Citrullus lanatus) y densidades poblacionales de nematodos de suelo en el Campo Agropecuario de la UNAN-León, durante el ciclo agrícola 2008* (Doctoral dissertation).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. (2014). Tecnología para producir tomate en casa malla para el norte de Tamaulipas. [en línea]. Recuperado de <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/989.pdf>

- Semillaria. (2015). Clasificación taxonómica de tomate (en línea). s.p. Consultado 26 de julio. 2021. Disponible en <http://semillaria.es/index.php/cultivos-ok/29-cultivos/94-taxonomia>
- Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador (2021). *Cifras agro productivas en la provincia de Loja* [en línea]. Recuperado de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Stoffel, S., Soares, C., Meyer, E., Lovato, P., y Giachini, A. (2020). Yield increase of corn inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. *Ciência Rural*, 50.
- Tamayo, Y., Martín, G., Herrera, J., Cesar, A., Abad, M., Nápoles, M., y Juárez, P. (2021). Biofertilizantes en la sucesión *Canavalia ensiformis-Solanum lycopersicum*: Rendimiento y calidad en frutos de tomate. *Rev. Fitotec. Mex*, 44, 341-347.
- Velasco, J, Aguirre, G, y Ortuño, N. (2016). Humus líquido y microorganismos para favorecer la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Crespa) en cultivo de hidroponía. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 71-83.
- Vera, A. (2017). *Influencia de endomicorrizas nativas en el cultivo de tomate (lycopersicom esculentum)* (Master's thesis, Espol).
- Vuelta, D., MasDiego, S., Montero, G., y Rizo, M. (2020). Efecto de 8 especies de hongos micorrízicos arbusculares sobre el manejo de nematodos en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones protegidas. *Ciencia en su PC*, 1(3),108-124.
- Ziane, H., Hamza, N., y Meddad, A. (2021). Los hongos micorrízicos arbusculares y las tasas de fertilización optimizan el crecimiento y el rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un agroecosistema mediterráneo. *Revista de la Sociedad Saudita de Ciencias Agrícolas*, 20 (7), 454-458.

# 11. ANEXOS

## Anexo 1. Análisis de suelo inicial donde se efectuó el experimento.

MC-LASPA-2201-01

	<b>INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</b> <b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS</b> Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0927

**NOMBRE DEL CLIENTE:** Romero Manzanares Luis Miguel  
**PETICIONARIO:** Romero Manzanares Luis Miguel  
**EMPRESA/INSTITUCIÓN:** Romero Manzanares Luis Miguel  
**DIRECCIÓN:** Loja

**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 01/12/2021  
**HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 11:32  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 06/12/2021  
**FECHA DE EMISIÓN:** 10/12/2021  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** S4 + CE. + CIC.+CO.+DA.

Análisis	Unidad	pH	N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg		Mg/K		Ca+Mg/K		Bases *		MO		CO.		Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
			ppm	A	A	A	M	0,19	B	0,11	B	4,69	A	1,39	A	1,7	B	3,1	M	388	A	11,0	M	3,36	12,30	53,68	6,20	3,7	A	6,38	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural							
21-3409		5,62	Me	Ac	90	A	37	A	23	M	0,19	B	0,11	B	4,69	A	1,39	A	1,7	B	3,1	M	388	A	11,0	M	3,36	12,30	53,68	6,20	3,7	A	6,38	43	34	23	FRANCO	Invernadero Tomate 1			

Análisis	Al+H*	Al*	Na *	C.E.	N. Total*	*	K H2O*	P H2O*	Cl*	IDENTIFICACIÓN
Unidad	meq/100g			dS/m	%	ppm	ppm	ppm	ppm	N
21-3409				1,51	NS					Invernadero de Tomate

**OBSERVACIONES:**

METODOLOGIA USADA	
pH = Suelo: Agua (1:2,5)	P K Ca Mg = Olien Modificado
S.P = Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olien Modificado
	B = Curcumina

\* Ensayos no solicitados por el cliente

INTERPRETACION		
pH	Elemento	
Ac = Acido	N = Neutro	B = Bajo
LAc = Liger. Acido	LAl = Lige. Alcalino	M = Medio
PN = Prac. Neutro	Al = Alcalino	A = Alto
RC = Requieren Cal	T = Tóxico (Boro)	

ABREVIATURAS	
C.E. =	Conductividad Eléctrica
M.O. =	Materia Orgánica

METODOLOGIA USADA
C.E. = Pasta Saturada
M.O. = Dicromato de Potasion
Al+H = Titulación NaOH

INTERPRETACION		
Al+H,Al y Na	C.E.	M.O y Cl
B = Bajo	NS = No Salino	S = Salino
M = Medio	LS = Lig. Salino	MS = Muy Salino
T = Tóxico		A = Alto

  
 Firmado electrónicamente por:  
**JOSE ALONSO LUCERO MALATAY**  
 LABORATORISTA

  
 Firmado electrónicamente por:  
**IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA**  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**  
**ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS**  
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.  
 Tifs. (02) 3007284 / (02)2504240



**INFORME DE ENSAYO No: 21-0927**

<b>NOMBRE DEL CLIENTE:</b> Romero Manzanares Luis Miguel	<b>FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 01/12/2021
<b>PETICIONARIO:</b> Romero Manzanares Luis Miguel	<b>HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:</b> 11:32
<b>EMPRESA/INSTITUCIÓN:</b> Romero Manzanares Luis Miguel	<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 06/12/2021
<b>DIRECCIÓN:</b> Loja	<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 10/12/2021
	<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> CIC

N° muestra	K	Ca	Mg	Na	Suma de bases	Saturación de bases	CIC	Identificación de la muestra
	meq/100 g suelo	(%)	meq/100 g suelo					
21-3409	0,12	4,72	1,42	0,32	6,6	95,8	6,9	Invernadero Tomate 1

**RESPONSABLES DEL INFORME**



Firmado electrónicamente por:  
**JOSE ALONSO**  
**LUCERO**  
**MALATAY**  
 LABORATORISTA



Firmado electrónicamente por:  
**IVAN RODRIGO**  
**SAMANIEGO**  
**MAIGUA**

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

**NOTA DE DESCARGO:** La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

## Anexo 2. Fotografías.



**Figura 1.** Preparación del suelo del invernadero.



**Figura 2.** Trasplante de plántulas de tomate y aplicación de micorrizas.



**Figura 3.** Fumigación de las plántulas para evitar el ataque de plagas.



**Figura 4.** Ubicación de alambre para tutorar.



**Figura 5.** Tutorado y toma de datos.



**Figura 6.** Poda de hojas bajas y eliminación de chupones.



**Figura 7.** Pesaje y cosecha de tomate.

### **Anexo 3.** Fertilizantes y dosis aplicadas.

**Tabla 8.** Soluciones nutritivas y dosis empleadas en el cultivo de *S. lycopersicum* var. *elpida* bajo invernadero.

<b>Fertilizantes (kg o l)</b>	<b>Etapas 1 (25 DDT)</b>	<b>Etapas 2 (26 a 65 DDT)</b>	<b>Etapas 3 (≥ 66 DDT)</b>
Nitrato calcio Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,40	2,94	3,57
Nitrato de amonio NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,37	2,01	2,70
Muriato de potasio (KCL)	1,95	3,12	4,68
Sulfato de magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	0,52	0,82	1,18
Ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0,19	0,22	0,24

Días después del trasplante (DDT); kilogramos (kg); litros (l).

#### Anexo 4. Medias y contrastes estadísticos.

**Tabla 9.** Medias y contrastes en las variables que presentan diferencias significativas.

Dosis (D)	Frecuencia (Fre)	Abrev.	pH	PMF	PMS	PF	R
0	0 (control)	A	4,87	952,37	121,71	85,42	53,47
50	1	B	5,35	794,35	95,31	134,91	84,37
50	2	E	5,1	1065,43	129,95	140,79	85,38
100	1	C	5,13	826,43	98,25	140,9	90,94
100	2	F	5,13	913,3	101,96	139,86	92,94
150	1	D	5,17	1293,53	164,28	145,41	97,36
150	2	G	5,07	1164,3	150,17	145,44	102,9
50			5,23	929,89	112,63	137,85	84,88
100			5,13	869,87	100,11	140,38	91,94
150			5,12	1228,92	157,23	145,43	100,13
	1		5,22	971,44	119,28	140,41	90,89
	2		5,10	1047,68	127,36	142,03	93,74
<b>EEM</b>			0,08	107,49	13,22	3,21	2,03
<b>P-valor (Contrastes)</b>							
	D50_100_150 vs D0		<b>0,008</b>	0,633	0,912	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
	Fre1 vs Fre2		0,353	<b>0,027</b>	<b>0,016</b>	0,106	<b>&lt;0,0001</b>
	D50 Fre1 vs 100_150		0,083	0,337	0,333	0,1981	0,139
	Fre1						
	D100 Fre1 vs D150		0,804	0,140	0,114	0,9819	0,056
	Fre1						
	D50 Fre2 vs D100-		0,875	0,032	0,005	0,1736	0,011
	150 Fre2						
	D100 Fre2 vs D150		0,420	0,411	0,464	0,994	0,072
	Fre2						

Peso de materia fresca (PMF); Peso de materia seca (PMS); Peso del fruto (PF); Rendimiento (R); Error estándar de medias (EEM).

**Anexo 5.** Insumos utilizados en el experimento.

**Tabla 10.** Insecticidas y fungicidas aplicados en el control de plagas y enfermedades.

<b>Insumos</b>	<b>Nombre comercial</b>	<b>composición</b>	<b>Dosis</b>	<b>Categoría</b>	
Insecticidas	Kañon	Chlpyrifos 500 g/l Cypermethrina 50 g/l Aditivos 1l	1,25 ml/l	Moderadamente peligroso	
	Mach	Lufenuron 50 g/l Aditivos 1l	1,25 ml/l	Poco peligroso	
	Daroma	Abamectin 18 g/l Acetamiprid 50 g/l Aditivos 1 l	2,5 ml/l	Moderadamente peligroso	
Fungicida	Ridomil Gold	Yoga	Abamectin 18 g/l Xylane 425 g/l Aditivos 1l	0,6 ml/l	Moderadamente peligroso
			Metalaxil-M 40 g/kg 640 Mancozeb g/kg	5 g/l	Poco peligroso

## CERTIFICACIÓN

Loja, 21 de septiembre de 2022

Lic. Yulisa Liset Manzanares Ordoñez

**Docente del Ministerio de Educación**

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del Inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de tesis denominado: **“Efecto de tres dosis de micorrizas en diferentes momentos de aplicación en la producción de *Solanum lycopersicum* bajo invernadero, en el sector La Argelia, Loja”** perteneciente al señor estudiante **Luis Miguel Romero Manzanares** con C.I. 0705641751.

Es en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor estudiante: **Luis Miguel Romero Manzanares**, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,



---

Lic. Yulisa Liset Manzanares Ordoñez  
Docente del Ministerio de Educación  
Nro registro Senecyt 1031-2022-2421776