



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GERMINATIVO
Y ADAPTATIVO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum*) AL
ESTRÉS SALINO CON INOCULACIÓN DE HONGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Laura Romina Ascencio Méndez.

LA LIBERTAD, JULIO 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GERMINATIVO
Y ADAPTATIVO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum*) AL
ESTRÉS SALINO CON INOCULACIÓN DE HONGOS
MICORRÍZICOS ARBUSCULARES**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Laura Romina Ascencio Méndez.

Tutor/a: Ing. Mercedes Santistevan, PhD.

LA LIBERTAD, 2025

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **LAURA ROMINA ASCENCIO MÉNDEZ** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 07/07/2025 (Día, mes, año)

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Víctor González Rivera, Mgtr.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Mercedes Santistevan, PhD.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Agron. Nadia Quevedo Pinos,
PhD.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por brindarme la oportunidad de crecer académicamente y por el apoyo que he recibido a lo largo de mi carrera. A todos mis docentes, cuya dedicación, conocimientos y enseñanzas me han inspirado y guiado en mi formación profesional.

Especialmente, quiero agradecer a mi tutora, Mercedes Santisteban, por su orientación, apoyo y confianza en mí. Su paciencia y compromiso han sido fundamentales para el desarrollo de esta tesis.

A mi familia, por su amor incondicional y por estar siempre a mi lado, brindándome el aliento necesario para seguir adelante. Y a mis amigos, por hacer de este camino una experiencia inolvidable y por su constante apoyo en los momentos de estudio y desafíos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a DIOS por guiarme en la vida, padres y familia cuyo amor incondicional merecen este gran esfuerzo. Docentes, tutor y todos aquellos que han aportado a mi desarrollo personal y académico.

A Jordan Zambrano cuyo amor y aliento constante me han impulsado a seguir adelante, gracias por estar siempre a mi lado.

RESUMEN

El tomate *Solanum lycopersicum*, es uno de los cultivos hortícolas más importantes a nivel mundial, es particularmente vulnerable al estrés salino lo que dificulta su crecimiento y productividad. El presente estudio propone evaluar el comportamiento germinativo y adaptativo del tomate (*S. lycopersicum*) al estrés salino con inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, organismos simbióticos que posiblemente puedan mejorar la tolerancia de las plantas a condiciones adversas. Se probó el efecto de diferentes concentraciones de salinidad y la presencia de HMA en las características morfológicas del cultivo de tomate. Se analizaron tres niveles de salinidad de 25 mM, 50 mM y 75 mM con mediciones tomadas a los 16, 21, 26 y 31 DDT. Los resultados indicaron que el aumento de salinidad redujo tanto la velocidad como el porcentaje de germinación. No obstante, los tratamientos inoculados con HMA mostraron mayor tasa de germinación, evidenciando efectos superiores con respecto a los tratamientos sin inoculación. Asimismo, se evidenció que los HMA favorecieron el desarrollo de la longitud radicular. El análisis de varianza de la longitud del tallo mostró que los tratamientos con HMA y salinidad especialmente el T7 (Control HMA) y T2 (SS) mostraron valores mayores en todos los días evaluados (16, 21, 26 y 31 DDT), superando significativamente a los tratamientos sin inoculación como el T0 (control-AD) y T6 (SS). Mientras que el diámetro del tallo tratados con HMA particularmente el T1 (SS+HMA) y T7 (control HMA) presentaron mayores valores de diámetros en todos los días evaluados en comparación con los tratamientos con salinidad, como el T2 (SS) y T6 (SS).

Palabras claves: Hongos micorrízicos arbusculares (HMA), germinación, estrés salino, concentraciones salinas.

ABSTRACT

The tomato, *Solanum lycopersicum*, is one of the most important horticultural crops worldwide, it is particularly vulnerable to salt stress, which hinders its growth and productivity. The present study proposes to evaluate the germinative and adaptive behavior of tomato (*S. lycopersicum*) to salt stress with inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi, symbiotic organisms that can possibly improve plant tolerance to adverse conditions. The effect of different salinity concentrations and the presence of AMF on the morphological characteristics of the tomato crop was tested. Three salinity levels of 25 mM, 50 mM and 75 mM were analyzed with measurements taken at 16, 21, 26 and 31 DDT. The results indicated that the increase in salinity reduced both the rate and percentage of germination. However, treatments inoculated with AMF showed a higher germination rate, evidencing superior effects compared to treatments without inoculation. Likewise, it was evidenced that AMF favored the development of root length. The analysis of variance of stem length showed that treatments with AMF and salinity, especially T7 (Control AMF) and T2 (SS), showed higher values on all days evaluated (16, 21, 26 and 31 DDT), significantly outperforming non-inoculation treatments such as T0 (control-AD) and T6 (SS). Stem diameters treated with AMF, particularly T1 (SS+AMF) and T7 (AMF control), presented higher diameter values on all days evaluated compared to salinity treatments, such as T2 (SS) and T6 (SS).

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), germination, salt stress, salt concentrations.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO GERMINATIVO Y ADAPTATIVO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum*) AL ESTRÉS SALINO CON INOCULACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES”** y elaborado por **Laura Romina Ascencio Méndez**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Problema Científico | 2 |
| Objetivos | 2 |
| Objetivo General: | 2 |
| Objetivos Específicos: | 2 |
| Hipótesis | 2 |
| CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 1.1 Generalidades del cultivo de tomate | 3 |
| 1.1.1 Origen del tomate..... | 3 |
| 1.1.2 Importancia del tomate | 3 |
| 1.1.3 Clasificación taxonómica..... | 4 |
| 1.1.4 Descripción botánica..... | 4 |
| 1.1.5 Fenología del tomate..... | 4 |
| 1.1.6 Requerimientos edafoclimáticos | 5 |
| 1.1.7 Requerimientos nutricionales..... | 6 |
| 1.1.8 Plagas y enfermedades de importancia económica del cultivo de tomate | 6 |
| 1.2 Salinidad del suelo | 8 |
| 1.2.1 Factores de la salinidad del suelo..... | 8 |
| 1.2.2 La salinidad en la agricultura | 9 |
| 1.2.3 La salinidad en plantas de tomate | 10 |
| 1.2.4 El efecto de la salinidad en semillas de tomate..... | 10 |
| 1.3 Hongos Micorrízicos Arbusculares | 11 |
| 1.3.1 Generalidades de los HMA | 11 |
| 1.3.2 Las micorrizas y su importancia | 11 |
| 1.3.3 Mecanismos de micorrizas en la atenuación del estrés salino | 11 |
| 1.3.4 Los HMA y la salinidad..... | 12 |
| 1.3.5 Los HMA como alternativa para la producción agrícola en condiciones salinas . | 12 |
| 1.4 Abonos orgánicos y su efecto en el cultivo de tomate | 12 |
| CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS | 14 |
| 2.1 Caracterización del área | 14 |
| 2.2 Material vegetativo y condiciones experimentales | 14 |
| 2.2.1 Hongos micorrízicos arbusculares | 14 |
| 2.2.2 Preparación de las soluciones salinas | 15 |
| 2.3 Materiales, equipos y reactivos | 15 |
| 2.3.1 Material de campo..... | 15 |
| 2.3.2 Material de laboratorio..... | 15 |
| 2.3.3 Equipos de laboratorio | 15 |
| 2.4 Tipo de investigación | 16 |
| 2.5 Diseño de investigación | 16 |
| 2.5.1 Diseño experimental | 16 |
| 2.6 Manejo del experimento | 16 |
| 2.6.1 Preparación y esterilización | 16 |
| 2.6.2 Siembra y manejo de semillas..... | 17 |
| 2.6.3 Análisis químicos del suelo | 17 |
| 2.6.4 Inoculación con HMA..... | 17 |
| 2.6.5 Preparación de macetas..... | 17 |
| 2.6.6 Trasplante..... | 17 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.6.7 | Manejo fitosanitario | 18 |
| 2.6.8 | Plan de fertilización | 18 |
| 2.7 | Parámetros evaluados | 18 |
| 2.7.1 | Morfológicos..... | 18 |
| 2.8 | Análisis estadístico de los resultados..... | 19 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 20 |
| 3.1 | Efecto de la salinidad en la germinación de semillas de tomate incorporando HMA 20 | |
| 3.1.1 | Porcentaje de germinación | 20 |
| 3.1.2 | Velocidad de germinación | 21 |
| 3.1.3 | Longitud radicular a los 11 días de germinación | 22 |
| 3.2 | Parámetros morfológicos evaluados de plantas de tomate bajo la influencia de tres niveles de salinidad y presencia/ausencia de HMA..... | 24 |
| 3.2.1 | Longitud del tallo..... | 24 |
| 3.2.2 | Diámetro del tallo | 25 |
| 3.2.3 | Longitud de radicular..... | 25 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 27 |
| Conclusiones..... | | 27 |
| Recomendaciones..... | | 27 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 28 |
| ANEXOS..... | | 31 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo de tomate..... | 4 |
| Tabla 2. Condiciones climatológicas promedio de la provincia de Santa Elena | 14 |
| Tabla 3. Tratamientos de tres niveles de salinidad inoculados con micorrizas (HMA) | 16 |
| Tabla 4. Análisis de la varianza en la germinación de semillas de tomate bajo diferentes tratamientos | 20 |
| Tabla 5. Resultados del análisis de la varianza en la longitud radicular evaluada a los 11 días | 23 |
| Tabla 6. Análisis de la varianza de la longitud del tallo | 24 |
| Tabla 7. Efecto de la salinidad e inoculación de HMA en el cultivo de tomate, evaluando la longitud del tallo (mm) en los días 16, 21, 26 y 31 DDT | 24 |
| Tabla 8. Efecto de la salinidad e inoculación de HMA en el cultivo de tomate, evaluando el diámetro del tallo (mm) en los días 16, 21, 26 y 31 DDT | 25 |
| Tabla 9. Resultados del análisis de la varianza en la longitud radicular evaluada al 31 DDT | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Prueba de Tukey para la germinación con distintas concentraciones de solución salina más la aplicación de HMA | 21 |
| Figura 2. Velocidad de germinación (VG) en semillas tomate bajo diferentes tratamientos de salinidad más inoculación de HMA..... | 22 |
| Figura 3. Efecto de tres niveles de salinidad más inoculación con HMA, evaluando la longitud radicular a los 11 días..... | 23 |
| Figura 4. Efecto de la salinidad más inoculación de HMA, en cultivos de tomate evaluando la longitud radicular a los 31 DDT | 26 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- Figure 1A.** Inoculación de semillas de tomate con salinidad más HMA
- Figure 2A.** Germinación de semillas de tomate en los días 3, 6 y 10 inoculadas con salinidad más HMA
- Figure 3A.** Germinación de semillas de tomate en los días 3, 6 y 10 inoculadas con salinidad
- Figure 4A.** Micorrizas de la marca HUXTABLE
- Figure 5A.** Preparación del sustrato para el trasplante
- Figure 6A.** Plántulas de tomate recién trasplantada
- Figure 7A.** Plántulas de tomate a los 16 días DDT
- Figure 8A.** Plántulas de tomate a los 21 días DDT
- Figure 9A.** Plántulas de tomate a los 26 días DDT
- Figure 10A.** Plántulas de tomate a los 31 días DDT
- Figure 11A.** Estadístico descriptivo del análisis de la varianza de las variables en tomate
- Figure 12A.** Estadístico descriptivo del análisis de la varianza de las variables morfológicas en fase in vitro y vivero

INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa una de las hortalizas de mayor relevancia a nivel mundial y representa un importante valor económico, dentro del género *Solanum* desempeña el segundo lugar de importancia, debido a su predominancia en la dieta de gran parte de la población global, su consumo continua en aumento, lo que impulsa de manera constante su producción, cultivo y comercialización (Carrillo-Sosa *et al.*, 2020).

El cultivo de tomate constituye uno de los rubros de mayor dinamismo por su consumo masivo, su demanda en la dieta diaria y su popularidad aumenta debido a la alta producción y rentabilidad. Este vegetal cada vez tiene mayor relevancia nutricional en los tiempos modernos debido a que es una fuente extraordinaria de sustancias antioxidantes como es el licopeno y betacarotero, también vitaminas (C y A), que reduce la presencia de radicales libres en el cuerpo humano (Cacoango, 2018).

En el Ecuador la superficie sembrada de tomate riñón fue de 1834 hectáreas con una producción de 55,550 Toneladas métricas. Encontrándose la mayor concentración de la producción en la sierra con un porcentaje del 75,35% y el segundo lugar lo ocupa la región costa con un 24,65%. La provincia que lidera la producción de tomate riñón en la sierra es Cañar, seguida por Imbabura, Cotopaxi, Carchi, Tungurahua, Azuay y Chimborazo (INEC, 2016).

Según Tomalá (2017), alrededor de diez años la provincia de Santa Elena cultivaba amplias extensiones agrícolas a campo abierto, no obstante, esta producción ha experimentado una notable caída del 70%, atribuida a diversos problemas bióticos, como la elevada presencia de *P. longifila*, asimismo en condiciones salinas y en estrés hídrico, obstaculizando que el cultivo se mantenga a medida que pasan los años. En los últimos años, el cultivo ocupaba aproximadamente 103 hectáreas, ocasionando una producción anual próxima a 2,083 toneladas métricas.

El efecto que causa la salinidad en las plantas ocasiona un daños significativo, perjudicando el desarrollo en diversos niveles, disminuyendo así la germinación de las semillas y reduce el desarrollo radicular, impidiendo la absorción de nutrientes. A nivel del sistema aéreo, se observa un acortamiento de los tallos, una disminución en la cantidad de hojas y desecación en los bordes foliares (Goykovic y Saavedra, 2007).

Estos factores han afectado gravemente la producción de tomate en la región. Sin embargo, la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) es crucial para mejorar la adaptabilidad del tomate en condiciones adversas, como el estrés salino (Macias *et al.*, 2023). Por ello el presente estudio se basó en la evaluación del comportamiento germinativo y adaptativo del tomate (*Solanum lycopersicum*) al estrés salino con inoculación de hongos micorrízicos arbusculares.

Problema Científico

¿Influirá la inoculación de HMA en la adaptabilidad de las plántulas de tomate bajo la capacidad de estrés salino?

Objetivos

Objetivo General:

- ❖ Evaluar el comportamiento germinativo y adaptativo del tomate (*Solanum lycopersicum*) al estrés salino con inoculación de hongos micorrízicos arbusculares.

Objetivos Específicos:

1. Determinar si la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares afecta negativamente la capacidad adaptativa del tomate (*Solanum lycopersicum*) cuando se cultiva en condiciones de salinidad.
2. Calcular la velocidad y el porcentaje de emergencia en semillas de tomate expuestas a distintos niveles de salinidad, tanto con o sin la presencia de hongos micorrízicos arbusculares.
3. Analizar el impacto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo y estructura del sistema radicular del tomate bajo condiciones de estrés salino.

Hipótesis

Al inocular las plantas de tomate con HMA aumentara la adaptabilidad bajo condiciones de estrés salino, beneficiando a la resistencia y crecimiento en relación con las no inoculadas.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Generalidades del cultivo de tomate

1.1.1 Origen del tomate

El tomate es originario de América del Sur, aunque en el año 700 D.C. ya era consumido por los aztecas en Mesoamérica, sin embargo, a comienzos del siglo XIX se popularizó como ingrediente habitual en la cocina mediterránea. Penso (2022) señaló que existen varias teorías sobre cómo el tomate llegó a Europa, una de ellas sostiene que fue introducido en el continente tras la conquista española, y desde España a Italia, otros creen que el tomate es originario de la región Andina y sus ancestros se encuentran en forma silvestre en Colombia, Bolivia, Ecuador, Chile y Perú (Saavedra, 2021).

1.1.2 Importancia del tomate

El tomate es la segunda hortaliza más importante del mundo en cuanto a volumen producido después de la papa. Su importancia no sólo se refiere a la producción sino también a los valores comercializados internacionalmente. El aumento de la producción mundial de tomates se debe principalmente a aspectos tecnológicos, y en menor medida al incremento de la superficie total cultivada (15%). De acuerdo con los datos suministrados por Naciones Unidas (FAO, 2013).

Según Gabriel-Ortega *et al.* (2022), el tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más consumida a nivel mundial particularmente en Ecuador. Continuamente se generan nuevos híbridos mejorando las características agronómicas, para que sean resistentes a factores bióticos y abióticos adversos.

Torres (2017) indica que, esta hortaliza presenta una gran diversidad genética, existiendo un sin número de variedades con aspectos diferentes, color y sabor, además su demanda va en crecimiento continuamente, es por ello la notable producción y comercialización. Cabe recalcar que este incremento en la producción se debe a un mayor rendimiento, y no al incremento de la superficie que se cultiva.

1.1.3 Clasificación taxonómica

El tomate *Solanum Lycopersicum L.* incluye aproximadamente 147 géneros y 2930 especies (Peñaloza, 2021). Según López (2016) la taxonomía de este cultivo en la Tabla 1:

Tabla 1. Clasificación taxonómica del cultivo de tomate

| TAXONOMÍA | |
|------------------|---------------------|
| Reino: | Plantae |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnolosida |
| Subclase: | Asteridae |
| Orden: | Solanales |
| Familia: | Solanaceae |
| Género: | <i>Solanum</i> |
| Especie: | <i>Lycopersicum</i> |

(López, 2016)

1.1.4 Descripción botánica

León (2009) argumenta que, el tomate es una planta perenne y que pertenece a la familia de las solanáceas. Su sistema radicular está determinado por una raíz principal y varias raíces secundarias (adventicias). El tallo presenta una consistencia semileñoso y ramificada en varias ramas secundarias, con un grosor que varía de 2 a 4 cm en su base principal, la biomasa foliar está formada por folíolos lobulados con márgenes dentados. La plántula cuenta con 7 y 9 hojas compuestas de imparipinnados. Las flores están conformadas por pétalos de color amarillo agrupados en racimos que generan una inflorescencia compuesta. El fruto es de forma circular, teniendo un peso que fluctúa cerca de los 600 gramos.

1.1.5 Fenología del tomate

El cultivo de tomate presenta varias etapas en el crecimiento y desarrollo, estas presentan diferencias de acuerdo con los requerimientos nutricionales, agua, luz y con el manejo del cultivo, se puede lograr mejorar aspectos como la productividad, sanidad y calidad del fruto. Se diferencian dos fases de desarrollo del cultivo: una vegetativa y otra reproductiva. El tiempo del ciclo del cultivo se ve reflejado de acuerdo con las condiciones climáticas de la zona, donde se define el tipo de cultivo, las características del suelo y las prácticas agronómicas aplicadas en el cultivo, entre otros (Zamora, 2023).

Este sistema codificado está diseñado para describir las etapas fenológicas del cultivo de manera estandarizada, dividiéndolo en varias etapas (Bastida, 2017).

- **Etapa de germinación (00- 09):** Comprende el intervalo desde el momento de la siembra hasta las primeras plantas emergidas.
- **Crecimiento inicial de hojas (10- 19):** Durante esta fase temprana, las plántulas desarrollan sus hojas primarias verdaderas.
- **Aparición de brotes secundarios (20-29):** En esta etapa, la planta produce brotes laterales, los cuales contribuyen al crecimiento y ramificación.
- **Formación de estructuras reproductivas (40-49):** Aquí se desarrollan los órganos encargados de la producción de frutos.
- **Inicio de la floración (50-59):** Corresponde al período en el que las plantas generen sus flores.
- **Crecimiento del fruto (60-69):** Los frutos comienzan a formarse y se desarrollan progresivamente hasta alcanzar su forma y tamaño.
- **Maduración del fruto (70-79):** En esta etapa, los frutos adquieren su color definitivo y mejoran sus propiedades organolépticas.
- **Etapa de senescencia (80-89):** Representan el envejecimiento natural de la planta, donde se observa el deterioro de las hojas y tejidos.

1.1.6 Requerimientos edafoclimáticos

- **Temperatura:** El cultivo se desarrolla de forma óptima cuando la temperatura se mantiene en un rango cercano a los 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30 °C reducen la fructificación y la fecundación de los óvulos, afectan el desarrollo de los frutos y disminuyen el crecimiento y la biomasa de la planta. Las plantas de tomate se desarrollan mejor con temperaturas de entre 18 °C y 24 °C (López, 2017).
- **Luminosidad:** La falta de luminosidad puede afectar en forma negativa la formación de flores, fertilización y crecimiento vegetativo del cultivo, es crucial que la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad estén en equilibrio durante los periodos críticos del desarrollo de la planta (INTA, 2016). Por tal motivo se recomienda no cultivar tomate en sitios que permanecen nublados, ya que los rendimientos disminuyen considerablemente (INTA, 2014).
- **Suelo:** Según Martínez (como se citó en Magallanes, 2022), el cultivo de tomate es tolerante a la acidez del suelo, con un pH ideal de 6,0 a 6,8 aunque puede tolerar un pH de 5,5, sin embargo, cuando ya se habla de un pH menor a 5,5 afecta la

disponibilidad de nutrientes como el molibdeno (Mo), fósforo (P), calcio (Ca). El cultivo de tomate no es muy exigente en términos de suelo, excepto en lo que respecta al drenaje; no obstante, se obtienen mejores resultados en suelos profundos (de 1 m o más de profundidad), de texturas medias, permeables y sin impedimentos físicos en el perfil (Martín, 2021).

- **Humedad relativa:** Paredes (2011) destaca que la humedad relativa óptima para el cultivo de tomate oscila entre 60 a 80% cabe recalcar que se puede mejorar el crecimiento ajustando los niveles de humedad tanto en el día como la noche es decir en el día los niveles de humedad pueden aumentar en un 80 a 85% mientras que en la noche es recomendable que este en un rango bajo de 65 a 75% y por último cuando esta la etapa de polinización la temperatura debe estar alrededor de 70% ya que si existen temperaturas mayores el polen puede pegarse.

1.1.7 Requerimientos nutricionales

Para lograr un desarrollo adecuado del cultivo, las plantas de tomate requieren cerca de 300 kg de nitrógeno, 85 kg de fosfato (P₂O₅), 480 kg de potasa (K₂O), 30 kg de óxido de calcio (CaO) y unos 18 kg de óxido de magnesio (MgO) por hectárea, no obstante, estas cantidades pueden variar en funciones de distintos factores, como la variedad de tomate que se cultive, las características del suelo y las técnicas agrícolas empleadas (Zamora, 2024).

Según INIA (2017), se reconocen 17 elementos fundamentales para el desarrollo y producción del cultivo de tomate. Los tres elementos que las plantas necesitan para formar sus biomásas que abarcan (raíces, tallo, hojas y fruta) son el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O). Estos tres elementos constituyen alrededor del 90% de materia seca de la planta, el carbono se obtiene del aire y se convierte en carbohidratos durante la fotosíntesis, mientras que el hidrógeno y el oxígeno provienen del agua.

1.1.8 Plagas y enfermedades de importancia económica del cultivo de tomate

Según Bajaña (2022), el cultivo de tomate se ve afectado por varios insectos plaga que causan daños a diferentes partes de la planta, si no se llega a controlar esto puede resultar en su inevitable muerte. Encalada (2016) manifiesta que, el cultivo del tomate es afectado debido a enfermedades provocadas por microorganismos presentes en el suelo, principalmente hongos, que afectan al cultivo tanto en condiciones de campo abierto como en ambientes controlados como en los invernaderos.

1.1.8.1 Plagas que afectan al cultivo de tomate

- **La polilla del tomate (*Tuta absoluta*):** Es una plaga originaria de Sudamérica que afecta económicamente a los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y patata (*Solanum tuberosum*) y en menor medida a otras solanáceas cultivadas como berenjena (*Solanum melongena*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Infoagro, 2024), causan daños en el mesofilo de la hoja dejando solo la epidermis como resultado y ocasionan daños en el fruto verde, alrededor de la zona protegida del cáliz, dichos daños son entrada de hongos patógenos (Guedes *et al.*, 2019).
- **Negrita del tomate (*Prodidolopsis longifolia*):** Esta plaga comunmente llamada negrita del tomate, ha adquirido un relevancia economica cada vez mayor en distintos cultivos destinados a la exportacion en varios paises como Perú, Ecuador, Colombia, Jamaica y E.U. (Florida) (Bajaña, 2022). Este insecto-plaga puede atacar en cualquier momento del año, tanto en cultivos al aire libre como en sistemas protegidos, causando daños considerables al alimentarse de tejidos jóvenes, las partes más afectadas suelen ser de los brotes nuevos, las flores y los frutos (Bajaña, 2022). Los adultos *P. longifolia* no consumen alimentos, mientras que las larvas, especialmente en sus dos primeras etapas (instares I y II), muestran una alta agresividad, debido a su aparato bucal tipo chupados provoca lesiones en la epidermis y comprometen las células justo por debajo de esta etapa (Pozo, 2019)
- **Mosca blanca (*Bemisia tabaci*):** Es el principal insecto plaga en el cultivo de tomate, siendo portadora de virus que pueden infectar al cultivo y ocasionar grandes pérdidas al cultivo. Causa daños directos e indirectos, los daños directos son producidos por la savia donde provoca el desecamiento de las hojas afectadas y los daños indirectos son producidos por la secreción de melaza y posterior asentamiento de la mosca en hojas, flores y frutos; lo que provoca asfixia vegetal, dificultad en la fotosíntesis (Koppert, 2019). En general son originarias de la zona tropical americana. Se encuentran universalmente distribuidas, encontrándolas en todos los continentes y en un sinnúmero de países (Koppert, 2019).

1.1.8.2 Enfermedades que afectan al cultivo

- **Fusarium o Marchitez (*Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*):** Este patógeno afecta exclusivamente a plantas cultivadas de tomate y a algunas variedades silvestres relacionadas, *F. oxysporum* es un hongo que comunmente se encuentra en el suelo y puede mantenerse viable por periodos largos gracias a la formación de clamidosporas; además del suelo, también puede diseminarse a través de residuos vegetales y semilla infectadas, la entrada del hongo ocurre principalmente en la zona de elongación de la raíz, aunque este proceso puede verse favorecido por heridas o daños previos causados por nemátodos como *Meloidogyne* spp o *Pratylenchus* spp, los cuales generan lesiones que facilitan la infección (Encalada, 2016).
- **Pudrición Parda de la raíz, raíz Corchosa (*Pyrenochaeta lycopersici*):** Esta afección también puede encontrarse en diversas hortalizas, el patógeno logra mantenerse en el suelo bajo la forma de microesclerocios, así como las raíces del tomate u otras plantas que actúan como hospedadores, su propagación ocurre a través de plántulas contaminadas, por medio de actividades de manejo agrícola e incluso mediante el agua utilizada para el riego (Encalada, 2016).
- **Caída del almácigo y planta:** La enfermedad conocida como caída del almácigo o *damping off* es causada por un conjunto de hongos patógenos, entre los que destacan especies pertenecientes a los géneros *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*, estos organismos están ampliamente distribuidos en los suelos de la región y afectan a un gran número de plántulas, ya sean de hortalizas, frutales, especies forrajeras o forestales (Encalada, 2016).

1.2 Salinidad del suelo

1.2.1 Factores de la salinidad del suelo

Se clasifica un suelo como salino cuando su conductividad eléctrica supera los 4,5 dS/m. Bajo estas condiciones, las plantas enfrentan dificultades para absorber nutrientes necesarios, y además se ve afectada la actividad de los microorganismos presentes en el suelo, esto provoca consecuencias negativas tanto en el equilibrio del ecosistema y la biodiversidad edáfica, como en el rendimiento de los cultivos y, por ende, en la economía agrícola (FAO, 2025).

La salinidad del suelo puede originarse por factores naturales o por la intervención humana, siendo clasificadas como causas primarias y secundarias, respectivamente, las

causas primarias están relacionadas con elementos del entorno como el tipo de materiales geológicos con alto contenido salino, el régimen climático y las características del agua; en cambio, las causas secundarias se deben, en su mayoría a prácticas agrícolas inadecuadas, como el uso de agua de riego con alta conductividad eléctrica, la aplicación incorrecta de fertilizantes y un mal manejo tanto del suelo como el recurso hídrico (Omuto *et al.*, 2021).

En regiones semiáridas como las de clima mediterráneo, la limitada disponibilidad de agua obliga al uso de recursos hídricos de menor calidad, como aquellos provenientes de acuíferos con altos niveles de salinidad, la presencia excesiva de sales en el agua genera problemas como la reducción en las disponibilidades de agua para las plantas y desequilibrios en las disponibilidades de agua para las plantas y desequilibrios en los iones esenciales, lo que puede derivar en toxicidad para los cultivos (Karaca *et al.*, 2023).

Cuando los niveles de salinidad en el suelo son altos, las células vegetales tienden a perder agua, lo que provoca un estado de estrés osmótico debido a la disminución del contenido de agua en el citoplasma, esta pérdida de humedad reduce el volumen tanto del citosol como de las vacuolas, como consecuencia, se generan desequilibrios osmóticos e iónicos que interfieren en diversos procesos metabólicos esenciales para el desarrollo normal de las plantas (Ramakrishna y Ravishankar, 2011). La salinidad ejerce un impacto negativo sobre funciones vitales en las plantas, tales como la fotosíntesis, la producción de proteínas y metabolismos primario, ante este tipo de estrés, los vegetales activan diversas respuestas fisiológicas y bioquímicas con el fin de mitigar los daños; estas respuestas influyen tanto en la forma y estructura de los órganos vegetales como la síntesis de ciertos compuestos, incluyendo hormonas, azúcares, prolina, fenoles, entre otros (Kausar y Komatsu, 2023).

1.2.2 La salinidad en la agricultura

La salinidad representa una de las principales restricciones en la actividad agrícola, ya que disminuye la productividad de los cultivos y deteriora los suelos como resultado de la acumulación excesiva de sales en el sustrato, en diversas regiones agrícolas la creciente salinización de los suelos están limitando la posibilidad de obtener altos rendimientos como la capacidad de cultivar diferentes tipos de especies vegetales, lo que representa un desafío cada vez más significativo para la producción agrícola (Saldaña *et al.*, 2017).

Las altas concentraciones de Na^+ , en el sustrato sobre el cual se desarrollan las plantas, pueden dar lugar a una reducción del contenido de K^+ y Ca^{2+} en el tejido vegetal. Esta reducción puede deberse a que en los sitios de absorción del K^+ en la raíz también, se

puede absorber Na^+ , originando así, un antagonismo, el alto contenido de Na^+ puede restringir la absorción de nutrientes mediante la interferencia a los transportadores de la membrana plasmática de la raíz, además de, generar efectos adversos en la estructura del suelo (Saldaña *et al.*, 2017).

1.2.3 La salinidad en plantas de tomate

Las plantas de tomate que crecen en condiciones salinas presentan disminución en la capacidad fotosintética y alteraciones en la síntesis de proteínas por modificaciones en la expresión de genes, como consecuencia de los excesos de sal, debido a que el tomate es una especie glicófita, medianamente sensible al exceso de sal en el suelo, su cultivo en suelos salinos genera una disminución en el rendimiento (Saldaña *et al.*, 2017)

El cultivo de tomate en suelos afectados por salinidad genera múltiples alteraciones en las plantas, tanto a nivel fisiológico como morfológico y bioquímico. Entre los principales efectos se encuentra la reducción en la actividad fotosintética. Asimismo, la parte aérea también resulta comprometida: las plantas tienden a desarrollarse con menor altura, presentan una cantidad reducida de hojas y una baja densidad de estomas en la superficie superior. Además, se observan signos visibles como clorosis y necrosis, especialmente en los bordes foliares. Todo esto se traduce en una menor cantidad y peso de los frutos, lo cual repercute directamente en el rendimiento comercial del cultivo (Goykovic y Saavedra, 2007).

1.2.4 El efecto de la salinidad en semillas de tomate

El impacto de la salinidad sobre la germinación de semillas de tomate está directamente vinculado tanto al nivel de concentración salina presente en el sustrato como a las características específicas del cultivar o especie utilizada, la capacidad de las semillas para germinar en condiciones salinas se refiere a su habilidad para resistir los efectos de elevadas concentraciones de sales solubles en el entorno, cuando hay presencia de sales, el potencial hídrico del medio se reduce, limitando la disponibilidad de agua para las semillas, esto obliga a los embriones a generar un potencial osmótico suficiente para mantener su hidratación y permitir su desarrollo. Investigaciones realizadas con diferentes cultivares de *L. esculentum*, expuestos a niveles crecientes de cloruro de sodio, revelaron que a medida que la salinidad aumenta, el porcentaje de germinación disminuye y el proceso se vuelve más lento (Goykovic y Saavedra, 2007).

1.3 Hongos Micorrízicos Arbusculares

1.3.1 Generalidades de los HMA

Según Smith *et al.* (2010), en la mayoría de los suelos se encuentran las micorrizas, las cuales crean una relación simbiótica con las plantas, favoreciendo la absorción del agua y nutrientes, esta interacción además contribuye a que las plantas a que las plantas tengan una mayor resistencia frente a diversas condiciones de estrés, ya sea de origen biótico o abiótico. El uso de hongos micorrízicos arbusculares, se conoce también desde hace más de un siglo, aunque en las últimas décadas se ha convertido en una herramienta de gran utilidad para la horticultura, para la que hay vastas evidencias sobre su eficiencia en la competitividad y sustentabilidad de los sistemas productivos (Ruscitti *et al.*, 2017).

La asociación simbiótica entre los organismos resulta altamente beneficiosa para ambos, uno de los beneficios más relevante es el intercambio de compuestos nutritivos; donde la planta suministra carbohidratos y otros compuestos que se produce durante su metabolismo, mientras que el hongo le aporta a la planta agua, minerales, nutrientes orgánicos presentes en el suelo y otras sustancias que él mismo sintetiza (Medina, 2017).

1.3.2 Las micorrizas y su importancia

Torres-Arias *et al.* (2017) manifiestan que, los HMA desempeñan un papel fundamental debido a su capacidad de formar asociaciones simbióticas aproximadamente con el 80% de las especies vegetales; a través de esta relación, las plantas se benefician del micelio extraradical del hongo, el cual permite a la planta explorar el suelo por medio de las raíces, esta expansión favorece una mayor absorción de agua y nutrientes, particularmente aquellos que presentan baja movilidad en la solución del suelo, como el fósforo (P), un nutriente esencial para el desarrollo vegetal.

1.3.3 Mecanismos de micorrizas en la atenuación del estrés salino

Los HMA emplean diferentes mecanismos para atenuar el estrés que causa la salinidad en las plantas: estos pueden mejorar la absorción de nutrientes y agua, mantener el equilibrio osmótico, activa los antioxidantes para proteger a la planta en contra del daños causado por especies reactivas de oxígeno, eleva la tasa fotosintética y ajusta los niveles de hormonas para minimizar los efectos negativos de las sales en el crecimiento vegetal (Dastogeer *et al.*, 2020).

1.3.4 Los HMA y la salinidad

Según Medina (2016), los HMA poseen la capacidad de ayudar a las plantas a enfrentarse al estrés causado por la salinidad, aunque los mecanismos exactos que intervienen en estos procesos aun no se comprenden del todo, esto se debe en parte a la escasez de investigaciones que analicen de manera detallada como influyen los HMA en el desarrollo vegetal bajo condiciones salinas, así como el impacto que este tipo de ambiente tiene sobre la colonización micorrízica; sin embargo, la información sugiere que si se seleccionan de forma adecuada estos hongos podrían mejorar el rendimiento de cultivos con cierto grado de tolerancia a la salinidad.

En suelos afectados por la salinidad, se ha observado que los HMA favorecen la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas, destacando su papel en la absorción de fósforo (P), elemento que suele quedar insoluble en presencia de iones como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y zinc (Zn^{2+}); no obstante, el papel que desempeñan las micorrizas en estas condiciones no se ha determinado con certeza; por lo tanto se considera necesario llevar a cabo estudios adicionales para comprender el papel de los HMA en niveles de salinidad (Medina, 2016).

1.3.5 Los HMA como alternativa para la producción agrícola en condiciones salinas

Medina (2016) indica en su investigación que se ha comprobado que la simbiosis con hongos micorrízicos influye en varios procesos relacionados con la tolerancia de las plantas adversas a la salinidad, aún se desconocen algunos de los aspectos fisiológicos y moleculares que explican esta interacción, lo que sí está claramente evidenciado es el papel ecológico fundamental que cumple esta asociación para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas en condiciones salinas, lo cual resulta particularmente relevante para la agricultura en estas condiciones, en el caso del tomate (*Solanum lycopersicum* Mill), se ha observado que al ser injertadas y al inocular con HMA aumenta la resistencia a la salinidad, no solo se mejora el rendimiento total y comercial del cultivo, sino también se elevan ciertos parámetros de calidad, como el contenido de vitamina C reduciendo la acidez del fruto.

1.4 Abonos orgánicos y su efecto en el cultivo de tomate

Los abonos orgánicos se posicionan como una alternativa relevante dentro del enfoque de agricultura sostenible, especialmente aquellos obtenidos de material reciclables, como el compost y el vermicompost, la aplicación de estos abonos durante la fase de

crecimiento vegetativo del cultivo de tomate, en las cuales se produce un crecimiento acelerado, favorece el aumento en la altura de las plantas; este efecto podría mejorar la productividad, tanto en términos biológicos como agronómicos, en las etapas posteriores del desarrollo del cultivo, este efecto podría estar vinculado directamente con los componentes en los abonos orgánicos utilizados (Luna *et al.*, 2015).

Según Cayuba *et al.* (2021), el cultivo de tomate se desarrolla con normalidad con la aplicación del humus de lombriz, debido a que presento los mejores resultados en respuesta a la planta.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

La presente investigación se la realizó bajo condiciones controladas en los laboratorios del Centro de Investigaciones Biotecnológicas (CEB) perteneciente a la Universidad Estatal Península de Santa Elena – UPSE, ubicada en La Libertad, Provincia de Santa Elena, con las coordenadas geográfica 2°23'36.533 latitud sur, longitud oeste 80°87'59.667. En la Tabla 2 se observan las condiciones climatológicas promedio que se da en la provincia de Santa Elena.

Tabla 2. Condiciones climatológicas promedio de la provincia de Santa Elena

| Parámetros | Promedio anual |
|-----------------------------|------------------------|
| Temperatura promedio | 24°C |
| Temperatura mínima | 15,6 °C época seca |
| Temperatura máxima | 39,5 °C época lluviosa |
| Precipitación | 200 milímetros |
| Humedad relativa | 81,60% |

2.2 Material vegetativo y condiciones experimentales

Las semillas empleadas fueron tomate variedad Floradade se lo considera de tipo manzano, conocido por su calidad y alto rendimiento. Esta variedad presenta tolerancia a enfermedades como el *Verticillium wilt*, Gray Leaf Spot, *Fusarium* razas 1 y 2, *Stemphylium solani* y *Alternaria solani*. Además, destaca que se puede desarrollar por estaca, el tiempo de cosecha dependerá de las condiciones en las cuales se siembre, pudiendo ser desde los 80 hasta los 120 días (Karremans *et al.*, 1993; Geneseeds, 2025).

2.2.1 Hongos micorrízicos arbusculares

Se empleó un producto de la marca Huxtable®, disponible en forma de gránulos finos de color café rojizo. Este inoculante está compuesto por alrededor de 50 unidades de endoectomicorrizas, originarias de bosques de árboles nativos del Ecuador. Su origen garantiza que el producto sea completamente natural y ecológico (Ferbiohux, 2025).

2.2.2 Preparación de las soluciones salinas

Para la preparación de las soluciones salinas se empleó la fórmula de molaridad, $M = g / (PM \times V)$, con la finalidad de alcanzar las concentraciones requeridas, cada solución se preparó con 100 mL. Considerando que el peso molecular del cloruro de sodio NaCl es 58.44 g/mol, se calcularon las cantidades necesarios para obtener concentraciones de 25 mM, 50 mM y 75 mM. Las soluciones fueron elaboradas disolviendo la cantidad correspondiente de NaCl en agua destilada.

2.3 Materiales, equipos y reactivos

2.3.1 Material de campo

- Pala
- Fundas de vivero
- Cámara digital
- Tierra turba

2.3.2 Material de laboratorio

- Agua destilada
- Matraz Erlenmeyer 250 ml, 500 ml
- Probeta 250 ml, 50 ml
- Cloruro de sodio NaCl
- Espátula mango de madera
- Papel toalla
- Papel aluminio
- Bandejas germinadoras
- Atomizadores
- Pinzas
- Guantes
- Pipetas plásticas

2.3.3 Equipos de laboratorio

- Agitador
- Balanza analítica
- Autoclave

2.4 Tipo de investigación

Se realizó una investigación tipo experimental en la cual se manejaron factores de estudios correspondientes a las interacciones entre dosis de salinidad NaCl, HMA (hongos micorrízicos arbusculares) y el control para obtener respuestas sobre el manejo del cultivo de tomate.

2.5 Diseño de investigación

2.5.1 *Diseño experimental*

En esta investigación se implementó un diseño completamente al azar con un enfoque bifactorial 3x2. El primer factor A contiene tres niveles de salinidad de 25 mM, 50 mM y 75 mM; mientras que el segundo factor B determinó la aplicación con o sin micorrizas (Tabla 3). Se evaluaron ocho tratamientos distintos, con cuatro repeticiones, lo que dio como resultado un total de 32 unidades experimentales.

Tabla 3. Tratamientos de tres niveles de salinidad inoculados con micorrizas (HMA)

| Tratamientos | mM | HMA |
|--------------|------------------|-----|
| T0 | Control absoluto | |
| T1 | 25 | + |
| T2 | 25 | - |
| T3 | 50 | + |
| T4 | 50 | - |
| T5 | 75 | + |
| T6 | 75 | - |
| T7 | Control HMA | |

2.6 Manejo del experimento

2.6.1 *Preparación y esterilización*

Para asegurar condiciones libres de contaminantes, las bandejas germinadoras fueron esterilizadas en el autoclave durante dos horas a una presión de 15 PSI, con la finalidad de eliminar cualquier agente contaminante. En cada bandeja germinadora se dispondrán dos capas de papel filtro, lo cual permitió mantener la humedad de forma eficiente a lo largo del proceso.

2.6.2 *Siembra y manejo de semillas*

Después de que las bandejas germinadoras fueron preparadas con el papel filtro, se procedió a colocar 25 semillas de tomate en cada recipiente, utilizando pinzas brevemente esterilizadas se colocaron las semillas. Posteriormente se colocó 5 mL de la solución salina proporcionando a cada tratamiento con la finalidad de humedecer las semillas asimismo se aplico los HMA en cada tratamiento. El proceso de germinación se observó durante diez días, realizando observaciones en los días 3, 6 y 10 para evaluar el crecimiento y el desarrollo de las plántulas.

2.6.3 *Análisis químicos del suelo*

Para implementar los tratamientos de salinidad, se prepararon soluciones con las concentraciones de NaCl calculadas. Estas soluciones se aplicaron tanto durante la fase de germinación como después del trasplante. Se regaron las plantas utilizando un volumen de 100 mL por planta, asegurando que el sustrato alcance su capacidad de campo. La frecuencia de riego se ajustó según las condiciones ambientales.

2.6.4 *Inoculación con HMA*

Durante la fase de germinación, se llevó a cabo la inoculación con hongos micorrízicos. Este proceso consistió en la aplicación de 3 gramos del producto micorrízico a las semillas antes de su siembra en las bandejas germinadoras.

2.6.5 *Preparación de macetas*

Después de la fase de germinación, cada maceta se llenó con 15 kg de suelo previamente seleccionado. Después, se midió la capacidad de campo del suelo en cada maceta para determinar el régimen de riego más adecuado.

2.6.6 *Trasplante*

Transcurridos los 10 días después de la germinación, se procedió al trasplante a las macetas. Durante esta etapa, se incorporaron 5 gramos del inoculante micorrízico en el sustrato de cada maceta, ubicándolo por debajo de las raíces, según lo establecido en los tratamientos. Esta acción tiene como propósito favorecer la simbiosis entre los hongos micorrízicos y las raíces de las plantas, promoviendo una mejor interacción desde las fases iniciales del crecimiento.

2.6.7 Manejo fitosanitario

Se realizó un seguimiento regular con el propósito de identificar posibles enfermedades o carencias nutricionales, actuando así de forma preventiva. Estas observaciones constantes permitieron aplicar tratamientos adecuados aplicando soluciones específicas según lo que requiera cada plántula.

2.6.8 Plan de fertilización

La fertilización se planificó únicamente para cubrir los primeros 20 días después del trasplante. En esta etapa inicial se incorporó el 11,63 % del nitrógeno necesario (0,3 g/planta) al momento de realizar el trasplante, además de una porción de fósforo (0,4 g/planta) con la finalidad de favorecer el desarrollo inicial. En cuanto al potasio se suministró (0,1 g/planta) para estimular el crecimiento temprano.

2.7 Parámetros evaluados

2.7.1 Morfológicos

Porcentaje de germinación: Para calcular el porcentaje de germinación se comparó la cantidad de semillas que lograron germinar con el total de semillas sembradas al inicio. Por ello se llevó un control del número de plantas que emergieron durante el periodo correspondiente.

$$\%PG = \frac{\text{Número de semillas germinadas}}{\text{Número total de semilla}} \times 100$$

Velocidad de germinación: Para evaluar la emergencia de semillas se llevó a cabo conteos diarios de las plántulas emergidas en los días 3, 6 y 10 después del trasplante. Se consideró que las semillas habían emergido cuando la radícula superaba 1 mm de longitud. Se calculó la velocidad de emergencia aplicando la fórmula propuesta por Maguire en 1962.

$$VE = \frac{\text{Numero de plantas normales}}{\text{Dias primer conteo}} + \dots + \frac{\text{Numero de plantas normales}}{\text{Dias conteo final}}$$

Altura de la planta: La altura de la planta se determinó midiendo desde la base del tallo hasta la yema terminal, que es el punto de crecimiento apical. Se empleó un calibrador para realizar esta medición, asegurando precisión en la toma de datos.

Diámetro del tallo: El diámetro del tallo se midió desde el primer nudo visible del tomate. Para esta tarea, se utilizó un calibrador manual

2.8 Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos se los procesaron mediante análisis de varianza de calificación simple y los promedios se compararon por la prueba Tukey ($P \leq 0,05$). Para los análisis estadísticos se utilizó el software estadístico Infostat, dichos valores fueron utilizados para generar tablas y gráficos.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de la salinidad en la germinación de semillas de tomate incorporando HMA

3.1.1 Porcentaje de germinación

En la Tabla 4 se puede observar los resultados del análisis de la varianza (ANOVA), el análisis muestra que existen diferencias significativas $p < 0,05$ entre los tratamientos evaluados sobre el porcentaje de germinación. El coeficiente de variación fue de 26,26 % lo cual indica una variabilidad experimental moderada.

Tabla 4. Análisis de la varianza en la germinación de semillas de tomate bajo diferentes tratamientos

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|----------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 14845,33 | 7 | 2120,76 | 9,82 | 0,0001 |
| Tratamiento | 14845,33 | 7 | 2120,76 | 9,82 | 0,0001 |
| Error | 3456 | 16 | 216 | | |
| Total | 18301,33 | 23 | | | |
| CV % | | | | 26,26 | |

En la Figura 1 se muestra la comparación de medias de germinación evaluando la relación entre diferentes concentraciones de salinidad 25, 50 y 75 mM de NaCl y la presencia o ausencia de HMA.

El tratamiento T7 (Control-HMA) mostró la mayor germinación con un 94,67%, identificado con la letra a, presentando diferencias significativas ante los tratamientos T2 (50,67%), T4 (36%), T5 (40%) y T6 (16%). Esto se debe a que el T2, T4 y T6 contienen factores de salinidad de 25, 50 y 75 mM, respectivamente. Mientras que, el T5 contempla 75 mM más inoculación de HMA. En este sentido, la germinación de semillas de tomate disminuye en el T6, lo que indica que la adición de HMA si tiene un efecto positivo en el proceso de germinación bajo condiciones de salinidad.

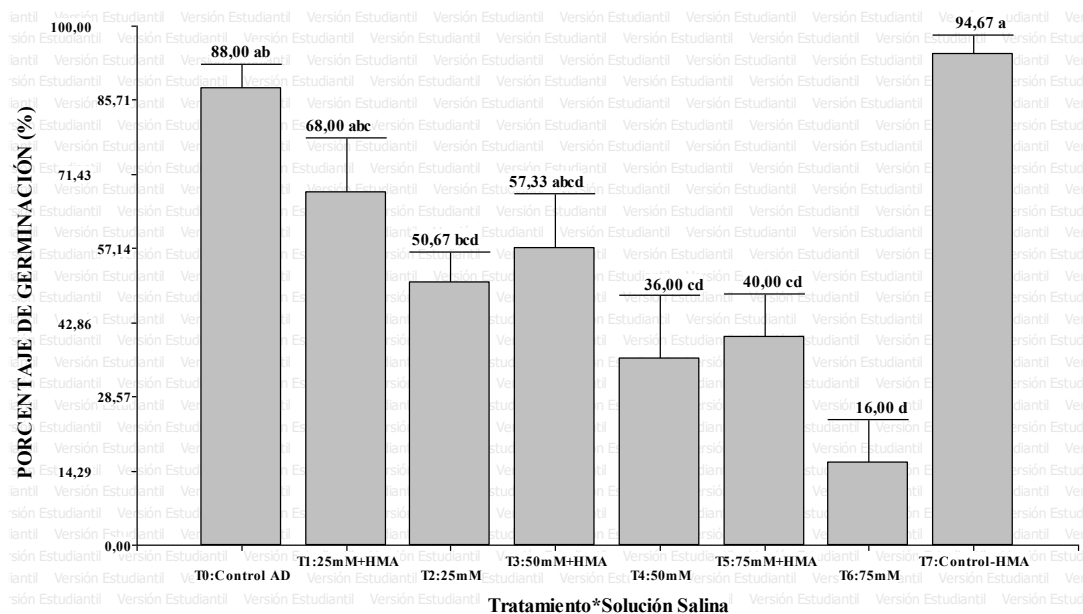


Figura 1. Prueba de Tukey para la germinación con distintas concentraciones de solución salina más la aplicación de HMA

En investigaciones realizadas por Ruiz *et al.* (2014) mencionan que, obtuvieron un porcentaje de germinación del 66,84 % en (50 mM) de salinidad. Por otra parte, en un estudio realizado por Tomalá (2015) obtuvo un porcentaje de germinación del 37,5% en (75 mM) de salinidad. Estos resultados difieren de los obtenidos en este trabajo.

Estudios realizados por Goykovic y Saavedra (2007) mencionan que, el porcentaje de emergencia decrece y se alarga la duración en el cual las semillas logran llevar este proceso. Los hallazgos obtenidos en este estudio coinciden con los reportados por Ruiz *et al.* (2014), quienes observaron en cultivos de tomate que el incremento de la salinidad en el agua de riego reduce progresivamente el porcentaje de germinación.

De igual manera, estos autores señalan que la capacidad de semillas para germinar en condiciones salinas refleja su nivel de tolerancia, al estar expuestas a concentraciones elevadas de sales solubles en el sustrato.

3.1.2 Velocidad de germinación

En la Figura 2 se observan los resultados obtenidos de la velocidad de germinación en los días 3, 6 y 10 en semillas de tomate sometidas a dos tratamientos bajo condiciones de salinidad, uno con aplicación de solución salina y el otro con aplicación de HMA.

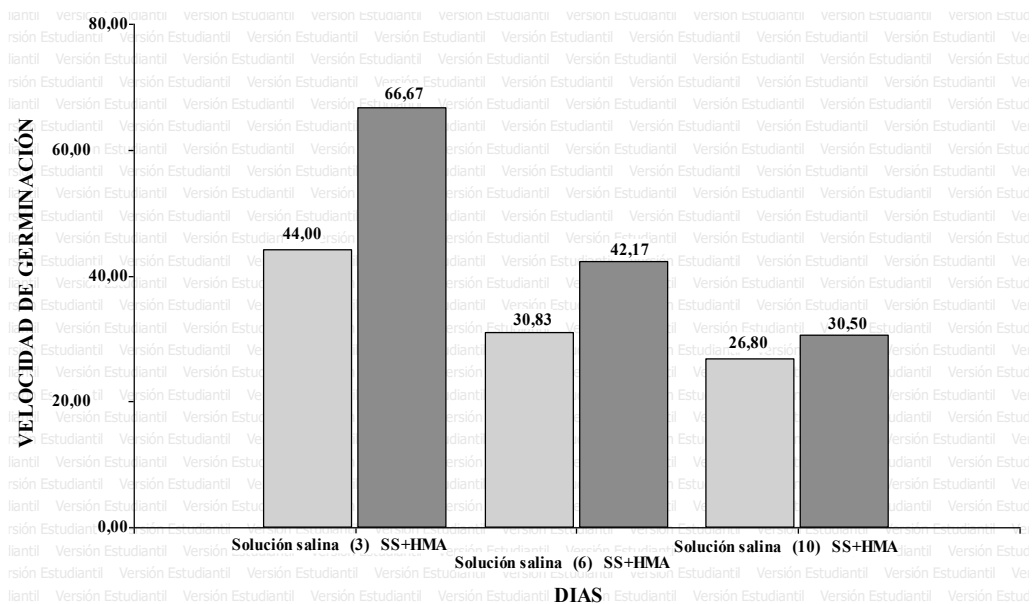


Figura 2. Velocidad de germinación (VG) en semillas tomate bajo diferentes tratamientos de salinidad más inoculación de HMA

Los tratamientos que se le aplicó solución salina mostraron velocidades de germinación inferior en los días evaluados 3, 6 y 10, con valores de 44, 30,83 y 26,8, respectivamente. Mientras que, los tratamientos tratados con salinidad más HMA presentaron valores superiores, en los días evaluados con promedios de 66,67, 42,17 30,5, respectivamente. Estos resultados indican que la aplicación de HMA mejora la tolerancia al estrés salino durante la germinación favoreciendo al cultivo.

Estudios realizados por Heikham *et al.* (2009) han demostrado que los HMA facilitan la absorción de agua y nutrientes, principalmente el fósforo (P), y promueve una mejor tolerancia al estrés abiótico. Por el contrario, la menor velocidad de germinación observada en el tratamiento con solución salina puede deberse al impacto negativo de la salinidad que afecta los procesos fisiológicos involucrados en la germinación (Munns y Tester, 2008).

3.1.3 Longitud radicular a los 11 días de germinación

Según el análisis de la varianza (ANOVA) realizado para la variable longitud radicular no mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados; a pesar de que el p-valor se encuentra cerca del umbral de significancia del 5%, aun así, no se considera efectos significativos. El coeficiente de variación fue del 34,14 %, lo cual sugiere una variabilidad moderada en los datos experimentales, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados del análisis de la varianza en la longitud radicular evaluada a los 11 días

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 6780,39 | 7 | 968,63 | 2,13 | 0,0687 |
| Tratamiento | 6780,39 | 7 | 968,63 | 2,13 | 0,0687 |
| Error | 14557,3 | 32 | 454,91 | | |
| Total | 21337,7 | 39 | | | |
| CV% | | | | 34,14 | |

En la Figura 3 se observan diferencias numéricas en los valores promedios de la longitud radicular entre los distintos tratamientos, la prueba de comparación de medias de Tukey $p < 0,05$ demostró que estadísticamente los tratamientos no difieren entre sí.

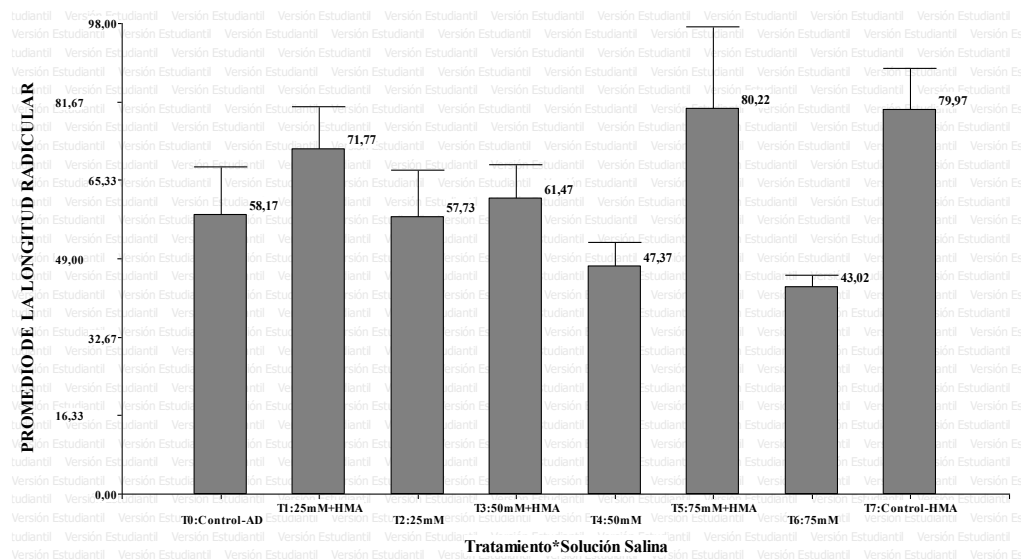


Figura 3. Efecto de tres niveles de salinidad más inoculación con HMA, evaluando la longitud radicular a los 11 días

Se observa que los tratamientos T5 (75 mM + HMA) y T7(Control-HMA) mostraron mayor promedio de longitud radicular con 80,22 mm y 79,97 mm, respectivamente, esto indica un posible efecto positivo de los HMA, incluso bajo condiciones de estrés salino.

Por otro lado, el tratamiento T6 (75 mM) presentó el promedio más bajo con 43,02 mm, evidenciando que las altas concentraciones de salinidad sin la presencia de HMA afecta negativamente el desarrollo de la raíz.

3.2 Parámetros morfológicos evaluados de plantas de tomate bajo la influencia de tres niveles de salinidad y presencia/ausencia de HMA

3.2.1 Longitud del tallo

Según el análisis de la varianza de Tukey con nivel de significancia del $p < 0,05$, establecido en la Tabla 6, existe diferencia significativa en el tratamiento T7 con una longitud de tallo del 70,25 mm en el día 31, con respecto a los tratamientos T0 y T6, ambos ubicados en el grupo de menor rendimiento. Sin embargo, el tratamiento T2 presentó un comportamiento destacado en los días 16 y 21, donde no mostró diferencias significativas con respecto al T7.

Tabla 6. Análisis de la varianza de la longitud del tallo

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|-----|---------|
| Modelo | 2046,64 | 7 | 292,38 | 8,9 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2046,64 | 7 | 292,38 | 8,9 | <0,0001 |
| Error | 1050,88 | 32 | 32,84 | | |
| Total | 3097,52 | 39 | | | |

Tabla 7. Efecto de la salinidad e inoculación de HMA en el cultivo de tomate, evaluando la longitud del tallo (mm) en los días 16, 21, 26 y 31 DDT

| TRATAMIENTOS | Día 16 | Día 21 | Día 26 | Día 31 |
|------------------|----------|----------|----------|-----------------|
| T7 (CONTROL-HMA) | 53,74 a | 56,8 a | 66,67 a | 70,25 a |
| T2 (SS) | 52,36 a | 55,52 a | 61,64 ab | 64,54 ab |
| T3 (SS+HMA) | 48,85 ab | 51,48 ab | 60,42 ab | 63,22 ab |
| T5 (SS+HMA) | 48,61 ab | 53,58 a | 61,55 ab | 63,79 ab |
| T1 (SS+HMA) | 46,99 ab | 51,72 ab | 62,41 ab | 64,8 ab |
| T4 (SS) | 39,37 bc | 42,69 bc | 54,23 bc | 56,72 bc |
| T0 (CONTROL-AD) | 33,59 c | 37,38 c | 46,34 c | 48,99 c |
| T6 (SS) | 31,02 c | 34,63 c | 46,55 c | 49,78 c |
| CV | 12,01 | 9,89 | 10,33 | 9,51 |

En este estudio tanto el T0 y T6 mostraron las longitudes del tallo más bajas en todos los días evaluados sin diferencias significativas entre ellos. En la Tabla 7, se puede observar que los T1, T3 y T5 todos con aplicación de HMA en distintas combinaciones con solución salina (SS) mostraron resultados intermedios con estadística similar al T2 y T7 en la mayoría de los días evaluados. En un estudio realizado por Khadre *et al.* (2021) en condiciones de salinidad la longitud del tallo presentó un promedio de 59,8 mm y 45,5 mm valores aproximados al T4 (SS) y T6 (SS). Mientras que en un estudio realizado por Zamora (2024) en condiciones de salinidad inoculadas con HMA la longitud del tallo presentó un promedio de 65,12 mm teniendo similitud con el T1 (SS+HMA).

3.2.2 Diámetro del tallo

Según el análisis de Tukey con nivel de significancia del $< 0,05$, existen diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 8). Efectivamente el tratamiento T7 presentó mayor diámetro, siendo significativamente superior a los tratamientos T2, T6 y T4. Los tratamientos T1, T3 y T5 también mostraron diámetros altos, estadísticamente similar al T7. Sin embargo, en el día 21 se puede observar que los tratamientos T3, T4 y T0 mostraron valores intermedios. Mientras que en el día 31 el tratamiento T2 mostró el valor más bajo, siendo significativamente inferior a la mayoría de los tratamientos.

Tabla 8. Efecto de la salinidad e inoculación de HMA en el cultivo de tomate, evaluando el diámetro del tallo (mm) en los días 16, 21, 26 y 31 DDT

| TRATAMIENTOS | Día 16 | Día 21 | Día 26 | Día 31 |
|------------------|---------|---------|---------|----------------|
| T7 (CONTROL-HMA) | 1,07 a | 1,14 a | 1,19 a | 1,21 ab |
| T2 (SS) | 0,72 a | 0,88 ef | 0,95 cd | 1 de |
| T3 (SS+HMA) | 1,05 a | 1,05 bc | 1,11 b | 1,14 bc |
| T5 (SS+HMA) | 1,03 a | 1,1 ab | 1,16 ab | 1,18 ab |
| T1 (SS+HMA) | 1,05 b | 1,15 a | 1,2 a | 1,22 a |
| T4 (SS) | 0,81 bc | 0,99 cd | 1,02 c | 1,06 cd |
| T0 (CONTROL-AD) | 0,85 cd | 0,94 de | 1,01 cd | 1,05 de |
| T6 (SS) | 0,75 d | 0,86 f | 0,93 d | 0,98 e |
| CV | 4,17 | 3,86 | 3,89 | 3,59 |

En la tabla 8 se puede observar que los tratamientos T1 y T7 fueron frecuentemente más efectivos para incrementar el diámetro del tallo. Sin embargo, los tratamientos T2 y T6 presentaron los diámetros más bajos. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Zamora (2024), quien reportó resultados en condiciones de salinidad inoculadas con HMA en el diámetro del tallo con un promedio de 1,17 mm valor similar al observado en el tratamiento T5 (SS+HMA).

3.2.3 Longitud de radicular

Según el ANOVA se explica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos, esto podría atribuirse a que el p-valor (0,0332) es menor que el nivel de significancia ($< 0,05$) establecido en la Tabla 9. Sin embargo, el análisis de Tukey no ha identificado pares de medias que sean significativamente diferentes entre sí. Mientras que, el coeficiente de variación fue del 32,71 %, esta alta variabilidad podría ser una de las razones por la cual no se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 9. Resultados del análisis de la varianza en la longitud radicular evaluada al 31 DDT

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 16139,7 | 7 | 2305,68 | 2,55 | 0,0332 |
| Tratamiento | 16139,7 | 7 | 2305,68 | 2,55 | 0,0332 |
| Error | 28928,3 | 32 | 904,01 | | |
| Total | 45068 | 39 | | | |
| CV% | | | | 32,71 | |

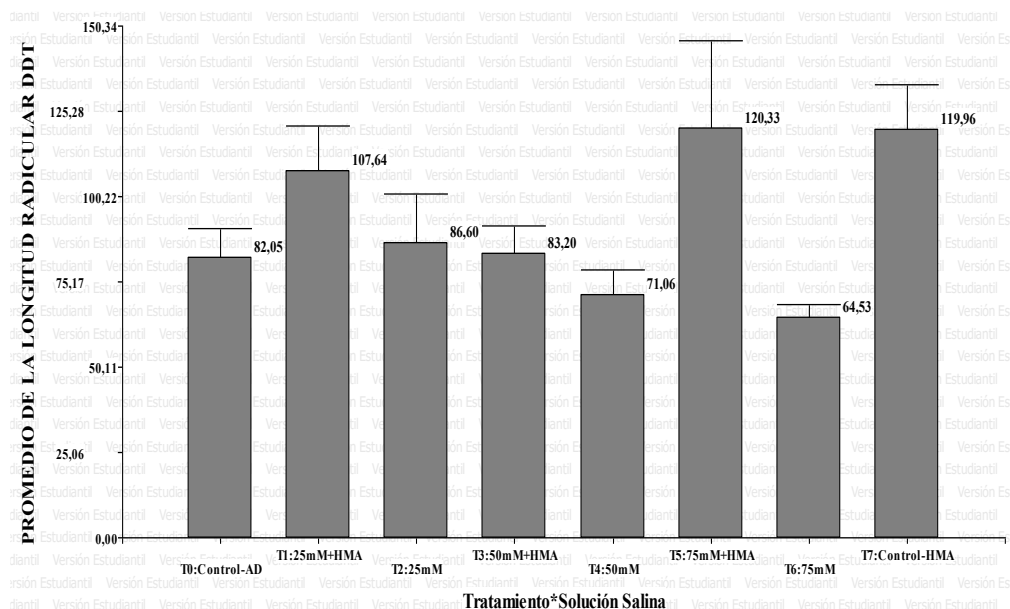


Figura 4. Efecto de la salinidad más inoculación de HMA, en cultivos de tomate evaluando la longitud radicular a los 31 DDT

En la Figura 4 se observa que el tratamiento T5 presento resultados destacados con la longitud radicular de 120,33 seguido del tratamiento T7 y T1 con 119,96 mm y 107,64 mm, respectivamente. Sin embargo, el T2 mostro un promedio de 86,6 mm mayor que el T0 82,05 mm.

En los otros tratamientos, las longitudes radiculares fueron consideradas menores siendo el tratamiento T6 el más bajo con un promedio de 64,53 mm. Khadre *et al.* (2021) reportaron longitudes radiculares con promedios de 29,2 mm; 37,5 mm y 31,7 mm valores que difieren con lo expuesto en este trabajo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La inoculación con HMA mejoro significativamente la adaptabilidad de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de salinidad. Los tratamientos inoculados con HMA presentaron mayor desarrollo en las variables morfológicas evaluadas como la longitud del tallo, diámetro del tallo y longitud radicular en comparación con los tratamientos sin inocular.

Se observo que la salinidad afectó negativamente la velocidad de germinación obteniendo promedios de 44, 30,83 y 26,8 en los días 3, 6 y 10, respectivamente. Sin embargo, los tratamientos inoculados con HMA podrían resistir parcialmente este efecto, permitiendo una germinación rápida con promedios de 66,67, 42,17 y 30,5 en los días evaluados, obteniendo un mayor número de plántulas incluso en condiciones de salinidad.

Finalmente, mediante el análisis ANOVA se pudo comparar que la formación y desarrollo del sistema radicular fue significativamente favorecida por la presencia de HMA. Las plantas inoculadas con HMA presentaron mayor longitud radicular mejorando la absorción de agua, facilitando el comportamiento y crecimiento del cultivo de tomate en condiciones salinas.

Recomendaciones

Explorar otras variables para comprender mejor la interacción entre la salinidad y la inoculación con HMA en cultivos de tomate.

Investigar otras cepas de HMA para identificar aquellas que muestran mayor eficacia en la mejora de tolerancia al estrés salino.

Realizar investigaciones en capo que simulen las condiciones reales del cultivo afectados por la salinidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bajaña, S. O., 2022. *Manejo integrado de insectos plagas en el cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum L.) En Ecuador.* 1 ed. Los Ríos : UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO.
- Bastida, C. O., 2017. 'Etapas fenológicas del cultivo del tomate', *Blog Agricultura*. [Online] Available at: <https://blogagricultura.com/etapas-fenologicas-tomate/> [Accessed 19 Abril 2025].
- Boudet, A. A., Boicet, F. T. & Santos, D. R. M. H. Y., 2017. Efecto sobre el tomate (*Solanum lycopersicum L.*) de diferentes dosis de abono orgánico bocashi en condiciones agroecológicas. *Centro Agrícola*, 44(4), pp. 37-42.
- Cacoango, P. M., 2018. *Estudio de la adaptación y rendimiento de 10 variedades de tomate riñón (Solanum lycopersicum L) bajo invernadero, cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.* 1 ed. Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.
- Carrillo-Sosa, Y., Terry-Alfonso, E. & Ruiz-Padrón, J., 2020. Efecto de un inóculo microbiano en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L.*). *Rev. Cultivos tropicales*, 41(4), p. 9.
- Cayuba, C. D., Cayuba, H. & Vicente, R. J. J., 2021. Crecimiento y desarrollo agronómico del tomate (*Solanum lycopersicum*), con dos tipos de abono orgánico en el municipio de Palos Blancos. *Revista Estudiantil AGRO-VET*, 5(1), p. 19.
- Chinnusamy, V., Jagendor, A. & Zhu, J.-K., 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45(2), p. 437-448 .
- Cuartero, J. & Fernández, M. R., 1998. Tomato and salinity. *Scientia Horticulture*, 78(1-4), pp. 83-125.
- Dastogeer, K., Zahan, M., Tahjib-Ul-Arif M, A. M. & S, O., 2020. Plant Salinity Tolerance Conferred by Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Associated Mechanisms: A Meta-Analysis. *Front plant*, 9(11).
- Derbew, B., Mokashi, A. & Patil, C., 2007. Effect of Mycorrhizal Inoculation at Different Salinity Levels on Root Colonization, Growth and Chlorophyll Content of Different Grape Rootstocks (*Vitis spp.*). *Tropical Agricultural Research & Extension*, Volume 10, pp. 79-82.
- Encalada, R. E. H., 2016. *Evaluación de dos especies de Trichoderma para el manejo de enfermedades fúngicas que afectan al cultivo del tomate (Solanum lycopersicum) a nivel radicular en condiciones de invernadero.* 1 ed. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- FAO, 2025. *Portal de suelos de la FAO-Manejo de suelos afectados por la salinidad.* [Online] Available at: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/> [Accessed 4 abril 2025].
- Ferbiohux, 2025. *ferbiohux del ecuador: Micorriza SOLIDA.* [Online] Available at: <https://ferbiohux.redtienda.net/pro.php?id=334943> [Accessed 22 Abril 2025].
- Fita, A. et al., 2015. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increa sing food production. *Front. Plant Sci*, 12(6), pp. 1-14.
- Gabriel-Ortega, J. et al., 2022. Evaluación y selección de híbridos de tomate *Solanum lycopersicum L.* (Mill.) en Puerto la Boca, Ecuador.. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 10(1), pp. 21-31.
- García, B. R., 2019. *Respuesta morfológica en explantes de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) bajo la influencia de diferentes concentraciones de citocininas.* 1 ed. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Geneseeds, 2025. *Geneseeds producto tomate-floradade.* [Online] Available at: <https://geneseeds.com.mx/producto/tomate-floradade/> [Accessed 21 Abril 2025].
- Goykovic, C. V. & Saavedra, D. R. G., 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo de tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 25(3), pp. 47-58.

- Heikham, E., Kapoor, R. & Giri, B., 2009. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of botany*, 104(7), pp. 1263-1280.
- Hernández-Herrera, R. et al., 2014. Efecto de los extractos líquidos de algas marinas en el crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *J Appl Phycol*, 26(<https://doi.org/10.1007/s10811-013-0078-4>), pp. 619-618.
- Hu, Y. & Schmildhalter, U., 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nut. Soil Sci*, Volume 168, pp. 541-549.
- INEC, 2016. *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. [Online] Available at: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/.../espac/espac2016/Indice%20de%20publicacion%20ESPAC> [Accessed 20 Abril 2025].
- Infoagro, 2024. *LA POLILLA DEL TOMATE (Tuta absoluta)*. [Online] Available at: https://www.infoagro.com/hortalizas/polilla_tomate_tuta_absoluta.htm [Accessed 6 Junio 2025].
- INIA, 2017. NUTRICIÓN Y FERTILIDAD EN TOMATE AL AIRE LIBRE. In: J. Martínez, L. Salinas & F. Corradini, eds. *Manual de cultivo del tomate al aire libre*. 2 ed. Chile: INIA, pp. 11-28.
- INTA, 2014. *Manejo integrado de plagas Cultivo de tomate*. 66 ed. Nicaragua: INTA.
- INTA, 2016. *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum)*. 1 ed. Costa Rica: INTA.
- Jones, R. A., 1986. High salt tolerance potential in *Lycopersicon* species during germination. *Euphytica*, 35(<https://doi.org/10.1007/BF00021866>), p. 575–582.
- Karaca, C. et al., 2023. Effects of Salinity Stress on Drip-Irrigated Tomatoes Grown under Mediterranean-Type Greenhouse Conditions. *Agronomy*, 13(1), p. 36.
- Karremans, J. A. et al., 1993. La mujer rural: su papel en los agrosistemas de la región semiseca de Centroamérica. *Semanticscholar*, 18(51).
- Kausar, R. & Komatsu, S., 2023. Proteomic Approaches to Uncover Salt Stress Response Mechanisms in Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), p. 518.
- Khadre, S. A. et al., 2021. In Vitro Germination and Early Vegetative Growth of Five Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Varieties under Salt Stress Conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 12(5), pp. 796-817.
- Koppert, 2019. *Mosca blanca*. [Online] Available at: <https://www.koppert.ec/plagas-en-plantas/moscas-blancas/mosca-blanca/> [Accessed 20 Marzo 2025].
- López, M. L., 2017. *Manual técnico del cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum)*. 1 ed. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Luna, M. R. et al., 2015. Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Centro Agrícola*, 42(4), pp. 67-74.
- Martín, A., 2021. *Fertirrigación del cultivo de tomate en invernadero*. [Online] Available at: <https://herografertilizantes.com/fertirrigacion-del-cultivo-de-tomate-en-invernadero/> [Accessed 6 Junio 2025].
- Medina, G. L., 2016. La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos tropicales*, 37(3), pp. 42-49.
- Medina, V., 2017. *Biogeografía de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de café (Coffea arabica L.) en la región San Martín, Perú*. 1 ed. Perú: Repositorio - UNSM [Preprint]. Available at: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/855>.
- Munns, R. & Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual review of plant biology*, Volume 59, pp. 651-681.
- Omuto, T. C. et al., 2021. *Mapeo de suelos afectados por salinidad- Manual técnico*. 1 ed. Roma: FAO .
- Peñaloza, M., 2021. [Online] Available at: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33282/1/Tesis->

- [277%20Ingenier%03%ada%20Agron%03%b3mica%20-%20Pe%03%blaloza%20Lozada%20Mar%03%ada%20Bel%03%a9n.pdf](#)
- Pozo, P. W., 2019. *Comportamiento agronómico de dos líneas promisoras de tomate (Lycopersicon esculentum Mill) en Río Verde, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena*. 1 ed. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Ramakrishna, A. & Ravishankar, G. A., 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), p. 1720–1731.
- Ramos, O. C. et al., 2021. Efecto del NaCl y micorrizas (*Rhizophagus irregularis*) en el crecimiento de “tomate” *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). *Arnaldoa*, 28(3), pp. 675-692.
- Riquelme, S. J. & Carrasco, J. J., 2006. Alternativas de desinfección de suelo en la producción de tomates en invernaderos de Colón. *Boletín INIA- Institode Investigaciones Agropecuarias*, Issue 155, p. 105.
- Romero-Aranda, R., Soria, T. & Cuartero, J., 2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160(2), pp. 265-272.
- Ruiz, E. F. et al., 2014. Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) En primeras etapas fenológicas. *Terra Latinoam*, 23(4), pp. 311-323.
- Ruscitti, M., Arango, M. & Beltrano, J., 2017. Improvement of copper stress tolerance in pepper plants (*Capsicum annum* L.) by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Theor. Exp. Plant Physiol*, Volume 29, pp. 37-49.
- Saavedra, G., 2021. [Online] Available at: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/61a4bc74-540a-461f-9165-56dd05387ffd/content>
- Saldaña, T. M., Bejarano, C. A. & Guaqueto, S., 2017. Efecto de la salinidad en el crecimiento de plantas de tomate tipo chonto. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), pp. 329-342.
- Singh, K. N. & Chatrath, R., 2001. Breeding for adaptation to environmental factors. *Salinity Tolerance*, Volume 8, p. 170.
- Tester, M. & Romola, D., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91(5), pp. 503-527.
- Tomalá, F. S. A., 2017. *Evaluación de genotipos de tomate (Lycopersicon esculentum mill) tolerantes al estrés hídrico en Manglaralto, cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena*. 1 ed. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Tomalá, G. J., 2015. *CAPACIDAD GERMINATIVA DEL GENOTIPO DE TOMATE RIÑÓN (Lycopersicon esculentum Mill.) AL ESTRÉS SALINO EN DIFERENTES FOTOPERIODOS*. 1 ed. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Torres-Arias, Y. et al., 2017. Production of native arbuscular mycorrhizal fungi inoculum under different environmental conditions. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), pp. 87-94.
- Torres, P. A., 2017. *Manual de cultivo de tomate bajo invernadero*. 12 ed. Chile: INIA.
- WIKIFARMER, 2020. *Cultivo de tomate a campo abierto - cultivo del tomate al aire libre*, Wikifarmer.. [Online] Available at: <https://wikifarmer.com/library/es/article/cultivo-de-tomate-a-campoabierto-cultivo-del-tomate-al-aire-libre> [Accessed 2 Abril 2025].
- Yokoi, S., Bressan, R. & Hasegawa, P. M., 2002. Salt stress tolerance of plants. *JIRCAS Work*, pp. 25-33.
- Zamora, A. I., 2024. *Productividad del tomate (Solanum lycopersicum) bajo estrés salino e inoculación con hongo micorrízicos*. 1 ed. La libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena-UPSE.
- Zamora, V. D., 2023. *Manejo integrado de Phytophthora infestans en el cultivo de tomate (Solanum lycopersicum) en Ecuador*. 1 ed. Babahoyo: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO .

ANEXOS

Figure 1A. Inoculación de semillas de tomate con salinidad más HMA



Figure 2A. Germinación de semillas de tomate en los días 3, 6 y 10 inoculadas con salinidad más HMA

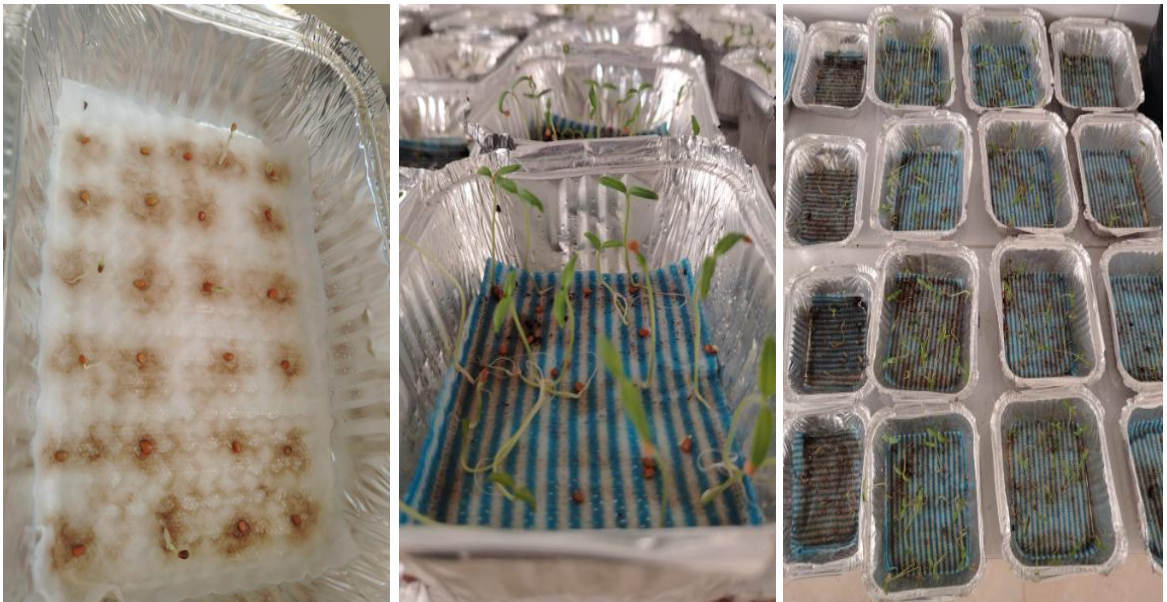


Figure 3A. Germinación de semillas de tomate en los días 3, 6 y 10 inoculadas con salinidad

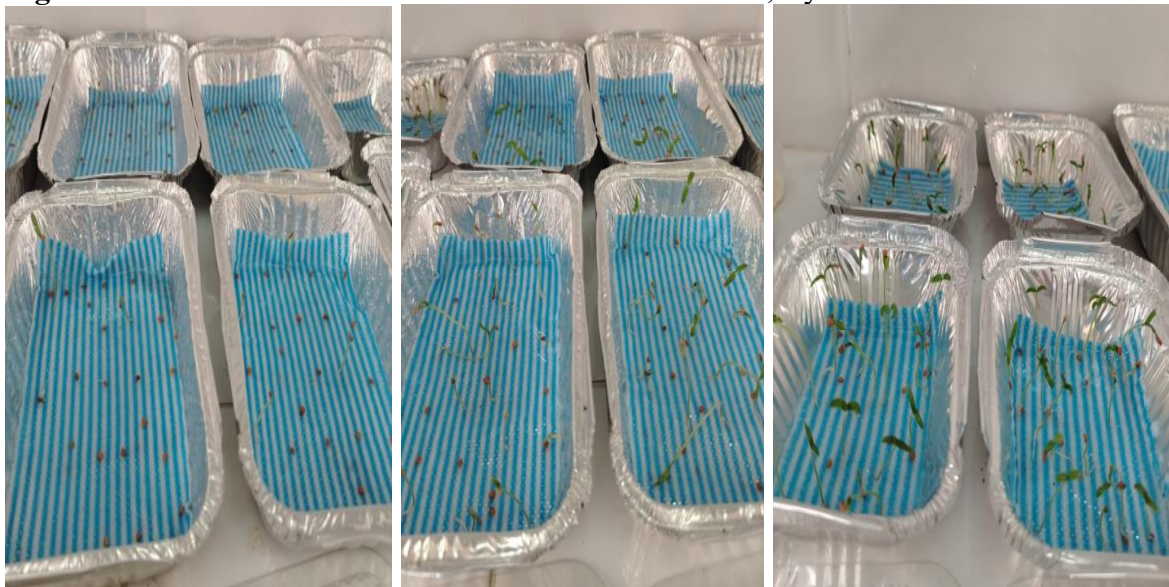


Figure 4A. Micorrizas de la marca HUXTABLE



Figure 5A. Preparación del sustrato para el trasplante



Figure 6A. Plántulas de tomate recién trasplantada



Figure 7A. Plántulas de tomate a los 16 días DDT



Figure 8A. Plántulas de tomate a los 21 días DDT



Figure 9A. Plántulas de tomate a los 26 días DDT



Figure 10A. Plántulas de tomate a los 31 días DDT



Figure 11A. Estadístico descriptivo del análisis de la varianza de las variables en tomate

Análisis de la varianza
Porcentaje de germinación

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| %GT | 24 | 0,81 | 0,73 | 26,26 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 14845,33 | 7 | 2120,76 | 9,82 | 0,0001 |
| Tratamiento | 14845,33 | 7 | 2120,76 | 9,82 | 0,0001 |
| Error | 3456,00 | 16 | 216,00 | | |
| Total | 18301,33 | 23 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=41,54581

Error: 216,0000 gl: 16

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | | | | |
|------------------|--------|---|------|---|---|---|---|
| T7 (Control-HMA) | 94,67 | 3 | 8,49 | A | | | |
| T0 (Control-AD) | 88,00 | 3 | 8,49 | A | B | | |
| T1 (SS+HMA) | 68,00 | 3 | 8,49 | A | B | C | |
| T3 (SS+HMA) | 57,33 | 3 | 8,49 | A | B | C | D |
| T2 (SS) | 50,67 | 3 | 8,49 | | B | C | D |
| T5 (SS+HMA) | 40,00 | 3 | 8,49 | | | C | D |
| T4 (SS) | 36,00 | 3 | 8,49 | | | C | D |
| T6 (SS) | 16,00 | 3 | 8,49 | | | | D |

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

Longitud de la raíz

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| L. raíz | 40 | 0,32 | 0,17 | 34,14 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|----------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 6780,39 | 7 | 968,63 | 2,13 | 0,0687 |
| Tratamiento | 6780,39 | 7 | 968,63 | 2,13 | 0,0687 |
| Error | 14557,27 | 32 | 454,91 | | |
| Total | 21337,66 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=43,69643

Error: 454,9147 gl: 32

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|------------------|--------|---|------|---|
| T5 (SS+HMA) | 80,22 | 5 | 9,54 | A |
| T7 (Control-HMA) | 79,97 | 5 | 9,54 | A |
| T1 (SS+HMA) | 71,77 | 5 | 9,54 | A |
| T3 (SS+HMA) | 61,47 | 5 | 9,54 | A |
| T0 (Control-AD) | 58,17 | 5 | 9,54 | A |
| T2 (SS) | 57,73 | 5 | 9,54 | A |
| T4 (SS) | 47,37 | 5 | 9,54 | A |
| T6 (SS) | 43,02 | 5 | 9,54 | A |

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

Figure 12A. Estadístico descriptivo del análisis de la varianza de las variables morfológicas en fase in vitro y vivero

Día 16 Longitud de Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Día 16 LT | 40 | 0,74 | 0,68 | 12,01 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 2579,87 | 7 | 368,55 | 13,02 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2579,87 | 7 | 368,55 | 13,02 | <0,0001 |
| Error | 905,95 | 32 | 28,31 | | |
| Total | 3485,82 | 39 | | | |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=10,90082

Error: 28,3111 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|------------------|--------|---|------|---|-----|
| T7 (Control-HMA) | 53,74 | 5 | 2,38 | A | |
| T2 (SS) | 52,36 | 5 | 2,38 | A | |
| T3 (SS+HMA) | 48,85 | 5 | 2,38 | A | B |
| T5 (SS+HMA) | 48,61 | 5 | 2,38 | A | B |
| T1 (SS+HMA) | 46,99 | 5 | 2,38 | A | B |
| T4 (SS) | 39,37 | 5 | 2,38 | | B C |
| T0 (Control-AD) | 33,59 | 5 | 2,38 | | C |
| T6 (SS) | 31,02 | 5 | 2,38 | | C |

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

Día 21 Longitud de Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| Día 21 LT | 40 | 0,78 | 0,73 | 9,89 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 2554,02 | 7 | 364,86 | 16,20 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2554,02 | 7 | 364,86 | 16,20 | <0,0001 |
| Error | 720,77 | 32 | 22,52 | | |
| Total | 3274,79 | 39 | | | |

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,72309

Error: 22,5241 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | |
|------------------|--------|---|------|---|-----|
| T7 (Control-HMA) | 56,80 | 5 | 2,12 | A | |
| T2 (SS) | 55,52 | 5 | 2,12 | A | |
| T5 (SS+HMA) | 53,58 | 5 | 2,12 | A | |
| T1 (SS+HMA) | 51,72 | 5 | 2,12 | A | B |
| T3 (SS+HMA) | 51,48 | 5 | 2,12 | A | B |
| T4 (SS) | 42,69 | 5 | 2,12 | | B C |
| T0 (Control-AD) | 37,38 | 5 | 2,12 | | C |
| T6 (SS) | 34,63 | 5 | 2,12 | | C |

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

Día 26 Longitud de Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|-------|
| Día 26 LT | 40 | 0,64 | 0,56 | 10,33 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 2027,36 | 7 | 289,62 | 8,22 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2027,36 | 7 | 289,62 | 8,22 | <0,0001 |
| Error | 1127,95 | 32 | 35,25 | | |
| Total | 3155,30 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=12,16327

Error: 35,2483 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | | |
|------------------|--------|---|------|---|---|---|
| T7 (Control-HMA) | 66,67 | 5 | 2,66 | A | | |
| T1 (SS+HMA) | 62,41 | 5 | 2,66 | A | B | |
| T2 (SS) | 61,64 | 5 | 2,66 | A | B | |
| T5 (SS+HMA) | 61,55 | 5 | 2,66 | A | B | |
| T3 (SS+HMA) | 60,42 | 5 | 2,66 | A | B | |
| T4 (SS) | 54,23 | 5 | 2,66 | | B | C |
| T6 (SS) | 46,55 | 5 | 2,66 | | | C |
| T0 (Control-AD) | 46,34 | 5 | 2,66 | | | C |

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

Dia 31 Longitud de Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| Dia 31 LT | 40 | 0,66 | 0,59 | 9,51 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 2046,64 | 7 | 292,38 | 8,90 | <0,0001 |
| Tratamientos | 2046,64 | 7 | 292,38 | 8,90 | <0,0001 |
| Error | 1050,88 | 32 | 32,84 | | |
| Total | 3097,52 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,74038

Error: 32,8400 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | | |
|------------------|--------|---|------|---|---|---|
| T7 (Control-HMA) | 70,25 | 5 | 2,56 | A | | |
| T1 (SS+HMA) | 64,80 | 5 | 2,56 | A | B | |
| T2 (SS) | 64,54 | 5 | 2,56 | A | B | |
| T5 (SS+HMA) | 63,79 | 5 | 2,56 | A | B | |
| T3 (SS+HMA) | 63,22 | 5 | 2,56 | A | B | |
| T4 (SS) | 56,72 | 5 | 2,56 | | B | C |
| T6 (SS) | 49,78 | 5 | 2,56 | | | C |
| T0 (Control-AD) | 48,99 | 5 | 2,56 | | | C |

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

Dia 16 Diámetro del Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| Dia 16 DT | 40 | 0,94 | 0,93 | 4,17 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,75 | 7 | 0,11 | 73,14 | <0,0001 |
| Tratamientos | 0,75 | 7 | 0,11 | 73,14 | <0,0001 |
| Error | 0,05 | 32 | 1,5E-03 | | |
| Total | 0,79 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07828

Error: 0,0015 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | | |
|------------------|--------|---|------|---|---|---|
| T7 (Control-HMA) | 1,07 | 5 | 0,02 | A | | |
| T3 (SS+HMA) | 1,05 | 5 | 0,02 | A | | |
| T1 (SS+HMA) | 1,05 | 5 | 0,02 | A | | |
| T5 (SS+HMA) | 1,03 | 5 | 0,02 | A | | |
| T0 (Control-AD) | 0,85 | 5 | 0,02 | | B | |
| T4 (SS) | 0,81 | 5 | 0,02 | | B | C |
| T6 (SS) | 0,75 | 5 | 0,02 | | | C |
| T2 (SS) | 0,72 | 5 | 0,02 | | | D |

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

Dia 21 Diámetro del Tallo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------|----|----------------|-------------------|------|
| Dia 21 DT | 40 | 0,90 | 0,88 | 3,86 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,46 | 7 | 0,07 | 42,49 | <0,0001 |
| Tratamientos | 0,46 | 7 | 0,07 | 42,49 | <0,0001 |
| Error | 0,05 | 32 | 1,5E-03 | | |
| Total | 0,50 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08020

Error: 0,0015 gl: 32

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | | | | | |
|------------------|--------|---|------|---|---|---|---|---|
| T1 (SS+HMA) | 1,15 | 5 | 0,02 | A | | | | |
| T7 (Control-HMA) | 1,14 | 5 | 0,02 | A | | | | |
| T5 (SS+HMA) | 1,10 | 5 | 0,02 | A | B | | | |
| T3 (SS+HMA) | 1,05 | 5 | 0,02 | | B | C | | |
| T4 (SS) | 0,99 | 5 | 0,02 | | | C | D | |
| T0 (Control-AD) | 0,94 | 5 | 0,02 | | | | D | E |
| T2 (SS) | 0,88 | 5 | 0,02 | | | | | E |
| T6 (SS) | 0,86 | 5 | 0,02 | | | | | F |

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

Dia 31 Longitud radicular

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| L.raíz | 40 | 0,36 | 0,22 | 32,71 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 16139,74 | 7 | 2305,68 | 2,55 | 0,0332 |
| Tratamiento | 16139,74 | 7 | 2305,68 | 2,55 | 0,0332 |
| Error | 28928,27 | 32 | 904,01 | | |
| Total | 45068,01 | 39 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=61,59809

Error: 904,0086 gl: 32

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|------------------|--------|---|-------|---|
| T5 (SS+HMA) | 120,33 | 5 | 13,45 | A |
| T7 (Control-HMA) | 119,96 | 5 | 13,45 | A |
| T1 (SS+HMA) | 107,64 | 5 | 13,45 | A |
| T2 (SS) | 86,60 | 5 | 13,45 | A |
| T3 (SS+HMA) | 83,20 | 5 | 13,45 | A |
| T0 (Control-AD) | 82,05 | 5 | 13,45 | A |
| T4 (SS) | 71,06 | 5 | 13,45 | A |
| T6 (SS) | 64,53 | 5 | 13,45 | A |

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