



Tema:

**Evaluación del efecto de diferentes métodos de inoculación de hongos micorrízicos
sobre la incidencia de patógenos del suelo.**

Autores:

Cedeño Hugalde Ariel Joao y Velasco Reascos Rashel Dayanara

Departamento de Ciencias de la Vida y Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en Agropecuaria

Director:

Ing. Mgs. Romero Salguero, Edison Javier

Santo Domingo de los Tsáchilas, 24 de febrero del 2026

Reporte de verificación de contenido



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

PROYECTO DE TITULACIÓN
(8)

5%
Textos
sospechosos

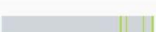
4% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas
1% Idiomas no reconocidos
13% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

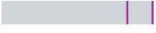
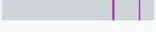
Nombre del documento: PROYECTO DE TITULACIÓN (8).pdf
ID del documento: 9feb36489e4d2dab31b78ac94dc1676414d60977
Tamaño del documento original: 4,83 MB

Depositante: EDISON JAVIER ROMERO SALGUERO
Fecha de depósito: 18/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 18/2/2026

Número de palabras: 18.305
Número de caracteres: 125.516

Ubicación de las similitudes en el documento:

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 www.revista.cuba.uady.mx/ ORGANO-MINERAL FERTILIZERS AND VERMICOMP... https://www.revista.cuba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/6208 3 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (134 palabras)
2	 www.scielo.org.bo/ Evaluación de cultivos de maíz (Zea mays L.) sembrados en... http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=52664-09022024000200363 1 fuente similar	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (112 palabras)
3	 cmad.ama.cu https://cmad.ama.cu/index.php/cmadv/article/view/368 2 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (74 palabras)
4	 doi.org EFECTO DE FERTILIZANTES ÓRGANO-MINERALES Y LOMBRICOMPOSTA S... https://doi.org/10.56369/tsaes.6208 3 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)
5	 hdl.handle.net Efecto de la aplicación del bioestimulante cytozyme sobre el cre... http://hdl.handle.net/20.500.12324/21581 2 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (66 palabras)

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 doi.org Biology, ecology, and epidemiology of Alternaria species affecting tomat... https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430965	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
2	 doi.org Early Detection of Alternaria alternata Infection in Fresh Pepper Fruit Ba... https://doi.org/10.1007/s12161-025-02773-3	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	 revistas.iiap.gob.pe https://revistas.iiap.gob.pe/index.php/foliaamazonica/article/download/541/578/	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
4	 doi.org https://doi.org/10.53897/revale.23.27.20	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	 oa.upm.es Absorption and mobility of radio-labelled calcium in chili pepper plan... https://oa.upm.es/65522/	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

Firma

Ing, Mgs. Romero Salguero Edison Javier

Director



Departamento de Ciencias de la vida

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Evaluación del efecto de diferentes métodos de inoculación de hongos micorrízicos sobre la incidencia de patógenos del suelo.”** fue realizado por los señores **Cedeño Hugalde Ariel Joao, Velasco Reascos Rashel Dayanara** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 24 de febrero del 2026

Firma:

.....

Ing, Mgs. Romero Salguero Edison Javier

C. C 1715875751



Departamento de Ciencias de la vida

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cedeño Hugalde Ariel Joao, Velasco Reascos Rashel Dayanara** con cédulas de ciudadanía n° 0803858760, 0504877192, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Título: Evaluación del efecto de diferentes métodos de inoculación de hongos micorrízicos sobre la incidencia de patógenos del suelo** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 24 de febrero del 2026

Firma

Firma

.....
Cedeño Hugalde Ariel Joao

c.c. 0803858760

.....
Velasco Reascos Rashel Dayanara

c.c. 0504877192



Departamento de Ciencias de la vida

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Nosotros **Cedeño Hugalde Ariel Joao, Velasco Reascos Rashel Dayanara** con cédulas de ciudadanía n° 0803858760, 0504877192, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Título: Evaluación del efecto de diferentes métodos de inoculación de hongos micorrízicos sobre la incidencia de patógenos del suelo** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 24 de febrero del 2026

Firma

Firma

.....
Cedeño Hugalde Ariel Joao

C.C. 0803858760

.....
Velasco Reascos Rashel Dayanara

C.C. 0504877192

Dedicatoria

Dedicado a Dios y a mis padres, no hubiera sido posible dar ni un solo paso sin su compañía.

A Lucho mi abuelo e Israel mi hermano, a quienes la vida no les permitió llegar este momento, los llevo siempre conmigo.

Hoy más que nunca entiendo que a un individuo no lo conforma solo su ser, si no más bien es el reflejo de todas aquellas personas que lo acompañaron a lo largo de su vida.

Ariel Cedeño

A Dios, quien me brindó fortaleza, sabiduría y guía para continuar durante todo este largo proceso.

A mis queridos padres, Elvira Reascos y Byron Velasco, quienes han sido mi mas grande inspiración. Valoro profundamente cada sacrificio silencioso que hicieron para que yo pudiera alcanzar mis sueños. No tienen idea de lo agradecida que me siento por tener el privilegio de ser su hija; este logro es tanto mío como suyo. A mis hermanos, que me heredaron el humor y los gustos que ahora me conforman. Gracias por ser parte de mi vida, por crecer conmigo, por su compañía y amor incondicional. A mis abuelos, quienes aunque estén lejos, han estado presentes en cada paso a través de sus oraciones.

Finalmente, dedico este logro a todas las personas que, de manera directa o indirecta, me apoyaron para cumplir esta meta. Hoy cierro una etapa importante de mi vida con el corazón lleno de gratitud, porque detrás de cada esfuerzo también hubo amor, compañía y muchas manos que me sostuvieron.

Rashel Velasco

Agradecimientos

"Te dé conforme al deseo de tu corazón, y cumpla todo tu consejo" -Salmos 20:4

Es necesario empezar de esta manera, haciendo mención y agradeciendo en primera instancia a Dios, quien fue guía, fortaleza y compañía en este largo camino lleno de altibajos.

A mis padres Victor y Rosa, por su inmensa paciencia, por su amor incondicional, por todos los consejos, regaños, palabras de aliento que me han acompañado durante toda mi vida, los cuales han servido para convertirme en el hombre que soy, espero seguir recibiendo su apoyo en esta nueva etapa.

A mis hermanos Erika, Rosa y Victor, quizá menos consejeros y más alcahuetes pero con el mismo amor y paciencia hacia su hermano pequeño.

A mí pequeña Estrella, la cual desde su inocencia siempre supo llegar en el momento indicado con un *"Te amo tío"*, tal vez ahora no entienda cuanto me ayudaba cada vez que lo decía.

A mi compañera Rashel por su compromiso, amistad y consejos, valoro siempre el apoyo que me dió al final de esta etapa.

Acabo agradeciendo a los amigos que hice en este camino, tengo la dicha de decir que no fueron pocos, siempre supe ser recibido con un saludo a cualquier lugar donde llegaba.

Ariel Cedeño

A Dios, por concederme la honra de haber nacido en la familia que tengo y por darme fuerzas para llegar hasta aquí.

A mis padres, porque no existen palabras suficientes para expresar lo inmensamente agradecida que me siento con ustedes. A mi madre, quien ha sido la mujer de la que más orgullosa he estado en mi vida; gracias por ser ejemplo de bondad, fortaleza y amor incondicional. Espero algún día llegar a ser tan fuerte y noble como tu. A mi padre, gracias por tu carácter, humor y por las enseñanzas que me has dado. Por las veces que dejaste todo a un lado por acompañarme y tu apoyo constante. Espero seguir llenándolos de orgullo. Gracias por darme la vida. A mis hermanos, con quienes crecí, reí, lloré y también discutí, pero han sido parte fundamental en mi historia. A toda mi bonita familia, que cada día se hace más grande.

A mis maestros, por guiarme durante mi formación académica y por abrirme la mente a nuevas posibilidades. De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Javier Romero, por su paciencia, dedicación y conocimientos. Gracias por apoyarnos durante este proyecto y por transmitir el amor por la carrera. A mi universidad, por ser el espacio donde conocí a grandes personas, viví experiencias inolvidables y crecí tanto a nivel académico como personal.

A mis amigos, porque he tenido la dicha de rodearme de personas increíbles y talentosas, de quienes he aprendido mucho. Gracias por estar conmigo durante toda esta aventura, en los buenos y malos momentos. Gracias por sus consejos, su apoyo y por ser un impulso para continuar cuando el cansancio y las dudas aparecían. Sin ustedes, mi vida no habría sido la misma. Si de verdad existiera otra vida, desearía volver a conocerlos.

A los nuevos amigos que hice en este camino, les deseo lo mejor y que la vida siempre les devuelva lo bonito que me brindaron.

A mi compañero de tesis, gracias por compartir este trayecto conmigo. Fue un gusto acompañarte durante este proceso y espero volver a escuchar tu filosofía, además de agradecerte por regalarme tu gusto por la salsa y baile.

A esa persona tan importante en mi vida que, por circunstancias, no se encuentra aquí en este momento; gracias infinitamente por tu amor y compasión. Has sido mi soporte más grande, has estado presente en mi camino de manera directa e indirecta, y fuiste la luz que me guió en muchos momentos. Espero verte pronto.

Finalmente, agradezco a mis gatitas, quienes me acompañaron en mis desveladas, y con su ronroneo, me acurrucaron el corazón cuando más lo necesitaba.

A todos, mil gracias. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

Rashel Velasco

índice

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Estado del arte.....	4
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos.....	7
Hipótesis.....	7
Hipótesis nula.....	7
Hipótesis alternativa.....	7
Marco teórico.....	8
Ají.....	8
Capsicum chinense var. Trinidad moruga scorpion.....	8
Taxonomía.....	9
Descripción morfológica de la planta.....	10
Raíces.....	10
Tallo.....	10
Hojas.....	11
Flores.....	11
Frutos.....	11
Requerimientos del cultivo.....	12
Clima.....	12
Precipitación.....	13
Suelo.....	13
Sustrato.....	13
Nutrición.....	14
Enfermedades del cultivo.....	15
Fusariosis o Marchitez Vascular (Fusarium spp.).....	15
Tizón temprano (Alternaria solani).....	16
Control biológico.....	16
Hongos micorrízicos arbusculares (HMA).....	16
Mecanismos de control biológico.....	17
Tipos de inoculación.....	19
Inoculación directa a la raíz.....	19
Inoculación al sustrato.....	20
Metodología.....	20
Ubicación del área experimental.....	20
Ubicación política.....	20

Ubicación geográfica.....	20
Ubicación ecológica.....	21
Materiales.....	22
Preparación y delimitación del terreno.....	22
Instalación del sistema de riego.....	22
Construcción del encofrado y colocación de letreros en el área experimental.....	23
Preparación del sustrato inoculante.....	24
Siembra.....	25
Control de malezas.....	25
Control fitosanitario.....	25
Bioestimulantes.....	26
Fertilización.....	26
Muestreo de suelo y análisis en laboratorio.....	27
Métodos.....	28
Establecimiento del ensayo.....	28
Preparación del terreno.....	28
Delimitación del terreno.....	28
Establecimiento de unidades experimentales.....	28
Instalación del sistema de riego.....	29
Elaboración e instalación de Suelo enriquecido con M.O.....	29
Preparación del sustrato con inóculo.....	29
Siembra y fertilización.....	30
Riego.....	31
Manejo y mantenimiento del área de ensayo.....	31
Control de malezas.....	31
Control fitosanitario.....	31
Aplicación de bioestimulantes y fertilizantes.....	32
Podas.....	33
Tutorado.....	33
Toma de datos.....	33
Manejo del experimento: Fase de laboratorio.....	33
Preparación de medio de cultivo.....	33
Aislamiento de patógenos.....	34
Identificación de patógenos del suelo.....	34
Replicación de patógenos identificados.....	34
Interacción patógeno-raíz.....	34
Evaluación físico-químicas del fruto.....	35
Extracción de capsaicinoides.....	35
Determinación de la Firmeza del fruto.....	35

Determinación de sólidos solubles totales.....	36
Determinación de pH del fruto.....	36
Diseño experimental.....	36
Tratamientos a evaluar.....	37
Tipo de diseño experimental.....	37
Análisis estadístico.....	38
Análisis funcional.....	38
Características de la unidad experimental.....	38
Variables de estudio.....	39
Croquis del ensayo.....	40
Resultados.....	41
Control de patógenos.....	41
Alternaria.....	41
Fusarium.....	42
Variables productivas.....	46
Análisis físico químico.....	70
Análisis beneficio - costo.....	77
Costos de producción fijos.....	77
Costos de producción variables.....	78
Rentabilidad y relación costo - beneficio.....	79
Conclusiones.....	80
Recomendaciones.....	81
Referencias bibliográficas.....	83

Índice de tablas

Tabla 1.....	9
Clasificación taxonómica de Capsicum chinense.....	9
Tabla 2 Descripción de los distintos mecanismos utilizados por HMA para el control de patógenos del suelo.....	17
Tabla 3.....	21
Materiales empleados para la preparación y delimitación del área experimental.....	21
Tabla 4.....	22
Materiales utilizados para la instalación del sistema de riego.....	22
Tabla 5.....	23
Materiales para la construcción del encofrado de madera y colocación de letreros.....	23
Tabla 6.....	23

Materiales para la preparación del sustrato y siembra de plántulas de ají.....	23
Tabla 7.....	24
Composición y propiedades físico-químicas del inóculo micorrízico.....	24
Tabla 8.....	24
Materiales utilizados para la siembra de plantas de ají.....	24
Tabla 9.....	25
Materiales para el control de malezas.....	25
Tabla 10.....	25
Materiales para el control fitosanitario del cultivo.....	25
Tabla 11.....	26
Materiales utilizados en la aplicación de bioestimulantes en el cultivo.....	26
Tabla 12.....	26
Materiales utilizados para la fertilización en el cultivo.....	26
Tabla 13.....	27
Materiales utilizados en el muestreo y análisis en laboratorio.....	27
Tabla 14.....	32
Aplicación de fertilizantes.....	32
Tabla 15.....	36
Factores a evaluar.....	36
Tabla 16.....	37
Tratamientos a evaluar en el ensayo.....	37
Tabla 17.....	38
Esquema de ADEVA.....	38
Tabla 18.....	46
Análisis de varianza para la variable altura a los 15 días de la siembra.....	46
Tabla 19.....	47
Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable altura a los 15 días de siembra.....	47
Tabla 20.....	48
Análisis de varianza para la variable altura a los 30 días de la siembra.....	48
Tabla 21.....	50
Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable altura a los 30 días de siembra.....	50
Tabla 22.....	51
Análisis de varianza para la variable altura a los 45 días de la siembra.....	51
Tabla 23.....	52
Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 45 días de la siembra.....	52
Tabla 24.....	54
Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 45 días de siembra.....	54

Tabla 25.....	55
Análisis de varianza para la variable altura a los 60 días de la siembra.....	55
Tabla 26.....	56
Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 60 días de la siembra.....	56
Tabla 27.....	58
Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 60 días de siembra.....	58
Tabla 28.....	59
Análisis de varianza para la variable altura a los 75 días de la siembra.....	59
Tabla 29.....	60
Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 75 días de la siembra.....	60
Tabla 30.....	62
Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 75 días de siembra.....	62
Tabla 31.....	65
Análisis de varianza para la variable peso de 10 frutos.....	65
Tabla 32.....	66
Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable peso de 10 frutos.....	66
Tabla 33.....	67
Análisis de varianza para la variable peso fresco de la raíz.....	67
Tabla 34.....	68
Análisis de varianza para la variable peso seco de la raíz.....	68
Tabla 35.....	69
Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables peso fresco y seco de raíces.....	69
Tabla 36.....	70
Comparación de promedios para la firmeza en los diferentes tratamientos.....	70
Tabla 37.....	72
Comparación de promedios de los grados brix en los diferentes tratamientos.....	72
Tabla 38.....	73
Comparación de promedios del pH en los diferentes tratamientos.....	73
Tabla 39.....	75
Comparación de absorbancia en los diferentes tratamientos.....	75
Tabla 40.....	77
Costos de producción fijos para el establecimiento del cultivo de Ají Escorpión (Capsicum chinense) para 512 m ²	77
Tabla 41.....	78
Costos de producción variables diferenciados por tratamiento.....	78
Tabla 42.....	79

Análisis de rentabilidad económica y relación Beneficio/Costo (B/C) en un área de cultivo correspondiente a 512 m ²	79
--	----

Índice de gráficos

Figura 1.....	20
Mapa de localización del ensayo experimental.....	20
Figura 2.....	40
Croquis de la distribución de las unidades experimentales.....	40
Figura 3.....	41
Morfología de <i>Alternaria</i> spp. A) Colonia en placa Petri. B) Micelio septado y conidios en cadena (40x, lugol). C) Conidios en forma de mazo (40x, azul de metileno).....	41
Figura 4.....	42
<i>Fusarium</i> sp. A) Colonia en placa Petri. B) Micelio septado y células conidiógenas tipo fiálide (40x, azul de metileno).....	42
Figura 5.....	43
Evaluación macroscópica del grupo control frente a la inoculación de patógenos. Tratamiento control inoculado con <i>Fusarium</i> spp. (afectado por contaminación) (A) .Tratamiento control inoculado con <i>Alternaria</i> spp.(B)....	43
Figura 6.....	44
Antagonismo contra Fitopatógenos. A) Exclusión competitiva de <i>Fusarium</i> sp. en la superficie radical. B) Inhibición del crecimiento y zonas de restricción frente a <i>Alternaria</i> sp.....	44
Figura 7.....	45
Tratamiento destinado a <i>Fusarium</i> spp., evidenciando un desplazamiento total por <i>Trichoderma</i> spp. (A). Tratamiento destinado a <i>Alternaria</i> spp., dominado por contaminación de hongos saprófitos del sustrato (B).....	45
Figura 8.....	49
Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 30 días de siembra.....	49
Figura 9.....	53
Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 45 días de siembra.....	53
Figura 10.....	57
Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 60 días de siembra.....	57
Figura 11.....	61
Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 75 días de siembra.....	61

Figura 12.....	63
Comparación de promedios de la variable altura.....	63
Figura 13.....	64
Comparación de promedios de la variable diámetro del tallo.....	64
Figura 14.....	71
Gráfico de barras en base a promedios de la dureza.....	71
Figura 15.....	73
Gráfico de barras en base a promedios de los grados brix.....	73
Figura 16.....	74
Gráfico de barras en base al potencial hidrógeno de los diferentes tratamientos.....	74
Figura 17.....	76
Gráfico de barras en el nivel de capsaicina de los diferentes tratamientos...	76

Resumen

La presente investigación evaluó la capacidad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) como agentes de control biológico para reducir la incidencia de patógenos transmitidos por el suelo y mejorar la rentabilidad del cultivo del ají escorpión (*Capsicum chinense*). Se llevó a cabo un experimento de campo en la parroquia de Luz de América utilizando un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo bifactorial. Se aplicó un sistema de riego por aspersión con la finalidad de contrarrestar la nula precipitación de la época seca. El estudio comparó seis tratamientos basados en la combinación entre los tipos de sustrato y los métodos de inoculación. Los resultados indicaron que la simbiosis micorrízica servía como una barrera bioprotectora eficaz, inhibiendo significativamente el desarrollo in vitro de patógenos de las raíces en comparación con los controles sin inóculo. En cuanto a la producción, mientras que el tratamiento enriquecido con materia orgánica + micorrizas logró el mayor rendimiento físico 225,68 kg, el análisis económico identificó el tratamiento suelo + plantas inoculadas como la estrategia superior. La técnica de inmersión de raíces no solo garantizó la salud de los cultivos mediante la protección de la raíz, sino que también optimizó sustancialmente los costos, generando una relación costo/beneficio de 1,40. Por el contrario, el control del suelo, que carecía de protección biológica, dio lugar a pérdidas económicas. Como resultado, la inmersión de raíces se acepta como una alternativa de control biológico accesible que de tal manera sustituye los costosos insumos por la eficiencia inmunológica, garantizando así tanto la sostenibilidad como la rentabilidad económica.

Palabras clave: Control biológico ají, Patógenos ají, Enfermedades de suelo, Micorrizas

Abstract

This research assessed the potential of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) as biological control agents to mitigate the incidence of soil-borne pathogens and enhance profitability in Scorpion Pepper (*Capsicum chinense*) cultivation. A field experiment was conducted in the Luz de América parish utilizing a Randomized Complete Block Design (RCBD) with a factorial arrangement. A sprinkler irrigation system was implemented to counteract the lack of rainfall during the dry season. The study compared six strategies derived from the interaction between substrate types and inoculation methods (control, solid incorporation, and root dipping). Phytosanitary findings confirmed that mycorrhizal symbiosis served as an effective bioprotective barrier, significantly inhibiting the in vitro development of root pathogens relative to non-inoculated controls. Regarding production, while treatment Enriched with O.M. + mycorrhizae achieved the highest physical yield 225,68 kg, the economic analysis identified treatment Soil + inoculated plants as the superior bio-economic strategy. TThis liquid inoculation technique not only ensured crop health by protecting the roots, but also substantially optimized costs, generating a benefit/cost ratio of 1,40. Conversely, the soil control, lacking biological protection, resulted in financial losses. Consequently, root dipping is validated as an accessible biological control technology that replaces costly inputs with immune efficiency, thereby ensuring both sustainability and economic returns.

Keywords: *Biological control of chili peppers, Chili pepper pathogens, Soil diseases, Mycorrhizae.*

Introducción

El cultivo se ha consolidado como un pilar importante para la economía y la identidad cultural de la región. En el caso de Ecuador, la diversidad genética de este género ha dado apertura al desarrollo de un mercado especializado, donde variedades como el Trinidad Scorpion Rojo (*Capsicum chinense*) destacan por su valor comercial.

El manejo de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos como *Fusarium spp.* y *Alternaria spp.* Se basa en la aplicación sistemática de fungicidas sintéticos. Si bien este método ofrece un control efectivo, su uso indiscriminado ha generado consecuencias ambientales adversas, tales como la degradación de la microbiota benéfica del suelo, la resistencia de los patógenos y la acumulación de residuos tóxicos, lo cual ocasiona un rechazo conforme las exigencias actuales de los mercados internacionales que demandan productos inocuos y producidos bajo esquemas de agricultura sostenible.

Frente a esto, la biotecnología agrícola ha posicionado herramientas eficientes, entre las cuales se destacan los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) por su rol crucial en la sanidad vegetal. Estos microorganismos establecen una simbiosis mutualista con las raíces de la planta, mejorando no solo la absorción de nutrientes, sino actuando como agentes de biocontrol mediante mecanismos de exclusión competitiva y la activación de la Resistencia Sistémica Inducida (MIR). Si bien los beneficios de los HMA está documentada, existe una brecha técnica sobre su implementación agronómica: la influencia del método de inoculación sobre el éxito de la colonización temprana.

Esta investigación busca establecer una estrategia de aplicación segura, la incorporación del inóculo al sustrato previa siembra o la inoculación directa a la raíz durante el trasplante, fijar cuál metodología resulta más eficiente para proteger a cultivares como el

Trinidad Scorpion Rojo. Esta variedad es susceptible al estrés y al ataque de patógenos antes de lograr un establecimiento robusto en campo. Una elección inadecuada del método de inoculación podría resultar en una colonización deficiente, dejando al cultivo vulnerable frente a la presión de enfermedades vasculares y foliares.

Esta investigación busca evaluar distintos métodos de inoculación micorrízica frente a la amenaza de patógenos radicales y foliares. Específicamente, se pretende determinar qué metodología ofrece los mejores resultados en términos de sanidad vegetal y desarrollo del cultivo. De esta manera, el propósito final es transferir conocimientos al sector agrícola, con el fin de reducir la dependencia de agroquímicos, impulsando así una agricultura más sostenible y ecológica.

Estado del arte

La producción intensiva de solanáceas, y específicamente del género *Capsicum*, enfrenta actualmente una crisis de sostenibilidad derivada del uso excesivo de agroquímicos para el control fitosanitario. En este contexto, la tendencia actual ha redirigido sus esfuerzos hacia la validación de estrategias biológicas que no sólo sustituyan a los fungicidas sintéticos, sino que restauren la funcionalidad del suelo. Investigaciones recientes, como las de Chaudhary et al. (2025), postulan que la agricultura moderna debe transitar hacia un enfoque regenerativo donde los microorganismos benéficos, particularmente los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), actúen como la primera línea de defensa. Esta perspectiva es apoyada por Umer et al. (2025), quienes argumentan que la resiliencia del cultivo ante estreses bióticos ya no debe depender de insumos externos reactivos, sino de la capacidad intrínseca de la planta para asociarse con simbiontes desde sus etapas fenológicas más tempranas.

Dentro de la implementación técnica de estas biotecnologías, existe un debate vigente

respecto al método de entrega más eficiente del inóculo. Para autores como Ma et al. (2022), la clave del éxito micorrízico reside en inocular el sustrato antes de la siembra. De tal manera, las hifas fúngicas se expanden por el medio antes de que la radícula emerja, lo que reduce el costo energético inicial para la planta. Esta metodología es frecuentemente mencionada como la más factible para sistemas de producción masiva debido a su facilidad operativa y menor requerimiento de mano de obra durante el trasplante.

Una alternativa que ha ganado relevancia es la propuesta por Moreno et al. (2025) quienes priorizan la inoculación radicular directa sobre otros métodos. Al aplicar el inóculo por inmersión o contacto físico, se asegura una simbiosis inmediata entre el hongo y la planta. Si bien este mecanismo reduce la competencia con otros microorganismos, también se corre el riesgo de causar estrés mecánico a plantas jóvenes.

Cuando se trata de amenazas vasculares como *Fusarium* (*Fusarium spp.*), el factor tiempo es determinante. Como indican Shaheen et al. (2021), la acción de los HMA es estrictamente preventiva: para que la protección sea efectiva, el hongo debe llegar antes, ocupar el espacio físico y reforzar las paredes celulares para bloquear al patógeno. Apoyando esta idea, Wang y Chen (2024) describen la micorriza establecida como un biofiltro; en este sentido, cualquier demora en la inoculación permite una exposición directa que facilita la entrada de patógenos, comprometiendo seriamente la supervivencia del cultivo.

El escenario cambia drásticamente frente a patógenos de ataque rápido como *Rhizoctonia solani*, agente causal del "damping-off" o mal del talluelo. Según Verma et al. (2020), la mortalidad causada por este hongo ocurre en cuestión de días post-germinación o post-trasplante. La literatura sugiere que la eficacia del control biológico en este caso depende absolutamente de la velocidad. Un método de inoculación que tarde demasiado en establecer

la simbiosis resultará ineficaz, independientemente de la calidad de la cepa utilizada. Por ello, la evaluación de métodos no es solo una cuestión de preferencia agronómica, sino un factor determinante para la supervivencia del cultivo en fases juveniles.

Finalmente, el control de patógenos foliares como el tizón temprano (*Alternaria spp.*) plantea el desafío fisiológico más complejo, dado que no existe contacto físico entre el biocontrolador y el patógeno. Investigaciones de vanguardia desarrolladas por Farhaoui et al. (2025) y Weng et al. (2022) han deducido que la protección en este nivel se logra exclusivamente mediante la Resistencia Sistémica Inducida (MIR). Para que esto ocurra, la inoculación debe ser lo suficientemente efectiva para alterar el perfil hormonal de la planta, elevando los niveles de ácido jasmónico y etileno en los tejidos aéreos. Esto implica que el método de inoculación seleccionado debe tener la capacidad no solo de proteger la raíz, sino apoyar al sistema inmune de toda la planta antes de la dispersión de esporas en el ambiente.

A pesar del avance del estudio de las micorrizas su interacción específica de micorrizas con el *Capsicum chinense* sigue siendo un terreno poco explorado. La mayoría de los estudios disponibles suelen limitarse a evaluar el efecto de los HMA frente a patógenos aislados, o comparan cepas fúngicas sin cuestionar la técnica de aplicación. De hecho no se reportan investigaciones recientes que contrasten simultáneamente la inoculación al sustrato versus la inoculación directa bajo la presión de un complejo patogénico que combine amenazas vasculares, radicales y foliares. Por consiguiente, resulta necesario determinar cuál de estas estrategias ofrece el balance óptimo entre practicidad operativa y activación de defensas sistémicas, justificando así la realización del presente estudio en las condiciones edafoclimáticas locales.

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes métodos de inoculación de hongos micorrícicos sobre la incidencia de patógenos del suelo.

Objetivos específicos

- Evaluar la incidencia y severidad de patógenos del suelo en las plantas tratadas con diferentes métodos de inoculación de hongos micorrícicos.
- Cuantificar el efecto de los métodos de inoculación sobre el rendimiento y la calidad de la producción del cultivo.
- Analizar la relación beneficio-costos de los diferentes métodos de inoculación con micorrizas arbusculares.

Hipótesis

Hipótesis nula

Ninguno de los métodos de inoculación de hongos micorrízicos influye significativamente en la reducción de la incidencia de patógenos del suelo, o la mejora de los parámetros de rendimiento y calidad del cultivo de *Capsicum chinense*.

Hipótesis alternativa

Al menos uno de los métodos de inoculación influye en la reducción de la incidencia de patógenos del suelo y, simultáneamente, mejora los parámetros de rendimiento y calidad del cultivo de *Capsicum chinense*.

Marco teórico

Ají

La diversidad del género *Capsicum* tiene raíces profundamente sudamericanas. Tal como describen García & Silvar (2020), estos cultivos provienen de un territorio biodiverso que comprende a Perú, Ecuador y Colombia, extendiéndose a través de los distintos pisos térmicos que van desde los Andes hasta la costa occidental.

Según explican Van Zonneveld et al. (2015), la expansión del ají se desencadenó tras el siglo XV mediante el intercambio entre América y el mundo; este fenómeno permitió una diversificación sin precedentes, resultando en múltiples variedades que lograron adaptarse con éxito a diversos entornos agroclimáticos.

En la actualidad, Yáñez et al. (2015) manifiesta que Ecuador se reconoce como uno de los países con mayor diversidad dentro del género. A nivel nacional sobresalen diez especies principales: *Capsicum annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. dimorphum*, *C. galapagoense*, *C. hookerianum*, *C. lycianthoides*, *C. pubescens*, *C. rhomboideum* y *C. frutescens*. Se cultivan aproximadamente 60 variedades, muchas de ellas adaptadas a distintas regiones y con diversos usos alimentarios, medicinales y comerciales.

***Capsicum chinense* var. Trinidad moruga scorpion**

A diferencia de la mayoría de cultivares de *Capsicum*, donde la síntesis de capsaicinoides ocurre en la placenta, el Trinidad Moruga Scorpion presenta una excepción fisiológica. Al respecto, investigaciones moleculares de Tanaka et al. (2017) evidenciaron que, en esta variedad, los genes Pun1, pAMT y KAS se expresan en el pericarpio. Esto significa que todo el fruto funciona como un órgano productor, lo cual explica sus niveles extremos de

pungencia.

En base a esto, estudios recientes de Sun et al. (2022) señalan que factores de transcripción como el MYB31 impulsan esta acumulación masiva de alcaloides frente a estímulos de desarrollo y estrés. Desde una perspectiva agronómica, esta característica impone una demanda metabólica superior: la planta debe desviar fotosintatos y nutrientes (N) hacia la defensa química en detrimento de su biomasa. Por consiguiente, este 'alto costo energético' valida la implementación de estrategias como la inoculación micorrízica, con el fin de compensar el gasto fisiológico y garantizar la viabilidad del cultivo.

Taxonomía

Tabla 1

Clasificación taxonómica de Capsicum chinense

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Astaridae
Orden	Solanales
Suborden	Solaninae
Familia	Solanaceae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>Capsicum Chinense Jacq.</i>
Variedad	<i>Capsicum Chinense var. Trinidad moruga scorpion</i>

Descripción morfológica de la planta

Raíces

Tal y como reportan Dias et al. (2013), el éxito agronómico de los cultivares de *Capsicum chinense* reside en su base: un sistema radical fibroso diseñado para la absorción superficial. La raíz pivotante pasa de ser dominante a generar un denso entramado de raíces laterales en los estratos superiores. No obstante, se mantiene el patrón de dicotiledónea, es decir: cilindro vascular organizado, endodermis clara y corteza pluricelular. Lo importante es cómo esta configuración interna y externa genera en el cultivo la plasticidad necesaria para explotar suelos con distintos niveles nutricionales.

Tallo

El tallo de *Capsicum chinense* destaca por una notable plasticidad fenotípica en su morfología. Según la investigación de Andrade et al. (2020) destaca que es común encontrar la presencia de pigmentos violáceos en ciertos tejidos específicos, mismos que son atribuidos a la acumulación de antocianinas como respuesta fisiológica.

Asimismo, esta variabilidad no se limita al color, sino que se extiende a la estructura general. Al respecto, Taş et al. (2021) documentaron diferencias significativas tras evaluar 83 genotipos, lo cual confirma la amplia diversidad morfológica que caracteriza a esta especie dentro de su germoplasma

Hojas

Las hojas de *Capsicum chinense* muestran características morfológicas que se mantienen relativamente constantes, tal como señalan estudios recientes. En particular,

Andrade et al. (2020) caracteriza la hoja como ovada u oval, con una pubescencia mínima en el 80% de los casos, con un color verde homogéneo al completar su desarrollo. Esto representa una estabilidad fenotípica misma que permite optimizar la selección de criterios de mejoramiento genético.

Flores

Desde una perspectiva taxonómica, Tripodi (2024) establece que la identidad de *Capsicum chinense* se define por una arquitectura floral específica. Si bien sus flores brotan de pedicelos finos, el elemento diagnóstico por excelencia es la constricción anular visible en su cáliz pentámero. Esta característica es complementaria con la corola de cinco lóbulos, decoloración blanco-verdosa con máculas amarillas basales. En la parte interna presenta un ovario cónico y anteras con colores azul pálido y violeta.

Frutos

El fruto de la variedad Escorpión es una baya hueca y apariencia rugosa e irregular. Su rasgo más notable es la forma del ápice puntiagudo que asemeja a un aguijón, que lo diferencia visualmente de otros cultivares de *Capsicum chinense*.

Profundizando en su anatomía interna, Avasiloi et al. (2025) identifican al septum de la placenta como el sitio clave de biosíntesis. Concretamente, es en las células parenquimáticas que recubren esta estructura donde ocurre la producción y almacenamiento masivo de capsaicinoides. Finalmente, el proceso de maduración conlleva un cambio cromático en el exocarpo, transitando del verde a tonalidades rojas, amarillas o marrones, dependiendo del genotipo.

Requerimientos del cultivo

Clima

El desarrollo y el nivel de picor del *Capsicum chinense* están estrechamente ligados a entornos cálidos y húmedos. Al respecto, Muñoz-Ramírez et al. (2018) demuestran en sus estudios realizados en Yucatán que la combinación de temperaturas diurnas de 37°C y nocturnas de 18°C, junto con una humedad del 86%, optimiza la formación de frutos y la concentración de capsaicinoides.

Por otro lado, Ramirez et al. (2020) complementan esta información al señalar que, bajo condiciones de invernadero, un rango térmico de 20–35°C, una humedad de entre 55–75% y aproximadamente 11 horas de luz solar son factores determinantes para garantizar la viabilidad del polen. En conjunto, estas evidencias confirman que la estabilidad climática es el pilar fundamental para potenciar la productividad y la pungencia de este cultivar.

Precipitación

Un estudio publicado por Gyalai et al. (2025) reportó que durante temporadas con menor precipitación, de aproximadamente 154 mm entre mayo y septiembre, la producción de frutos y la concentración de capsaicinoides aumentaron, lo que sugiere que un déficit hídrico moderado puede estimular la biosíntesis de estos compuestos, así mismo indicó que la disponibilidad de agua justo antes de la cosecha modula la actividad de las enzimas responsables de la producción de capsaicinoides; así, niveles de precipitación elevados podrían disminuir la síntesis, mientras que condiciones más secas la potencian.

Suelo

El éxito de este cultivo depende de suelos bien aireados y con excelente drenaje, preferentemente de texturas francas o franco-arenosas. Para Oney-Montalvo et al. (2022), un alto contenido de materia orgánica y una buena capacidad de intercambio catiónico son vitales; estas condiciones no sólo impulsan el crecimiento, sino que optimizan la producción de metabolitos del fruto. En conclusión, la calidad del suelo es un factor que define tanto el rendimiento físico como el perfil fitoquímico de la cosecha.

Sustrato

Según menciona López et al. (2022), la implementación de vermicomposta en el cultivo genera mejoras significativas en variables biométricas como la altura de la planta, así como en la capacidad reproductiva, manifestada en una mayor emisión de flores y cantidad de frutos. Como resultado, la planta no solo crece más, sino que su rendimiento total se incrementa de forma visible.

Nutrición

Nitrógeno

La disponibilidad del nitrógeno es un factor crítico que define la fisiología del *Capsicum chinense* y la calidad de sus frutos. Al respecto, J. Zhang et al. (2020) determinaron que el equilibrio entre las proporciones de amonio y nitrato influye significativamente en el crecimiento y en la acumulación de capsaicina. Esto ocurre debido a que dichas formas nitrogenadas regulan enzimas esenciales del metabolismo, tales como la GOGAT y la GS, las cuales están directamente vinculadas con la ruta de síntesis de los compuestos picantes.

El aporte nitrogenado debe ser preciso; según C. Zhang et al. (2024), solo los rangos intermedios estimulan las enzimas que controlan la producción de capsaicina. Curiosamente, tanto la carencia o exceso de este nutriente provocan desajustes metabólicos que frenan la síntesis de estos metabolitos.

Potasio (K)

El potasio es un nutriente que resulta decisivo para el éxito del cultivo, tal como lo plantean Aguilar et al. (2024). Sus hallazgos indican que al aplicar perfiles concentrados, N-P-K 350-250-360, optimizan significativamente los componentes del rendimiento.

De acuerdo con Borges et al. (2023), depende de la absorción de la raíz. Gracias a esta regulación, el *Capsicum* logra ajustar su tasa de asimilación según la disponibilidad en el suelo, esto posiciona al potasio como un gestor metabólico clave: por un lado, mantiene la estabilidad interna de la planta y, por otro lado, actúa como motor que moviliza los azúcares y fotosintatos directamente hacia el fruto.

Fósforo

Es un nutriente necesario para el crecimiento y la productividad de *Capsicum chinense*, está directamente relacionado en el desarrollo radicular y en la formación de nuevos tejidos mediante la suministración de energía. En la investigación de Castillo et al. (2024) se demostró que un nivel óptimo de fósforo dentro de la fertilización, significan un mayor número y tamaño de los frutos, por lo tanto, se establece que este nutriente presenta un papel clave durante la fase reproductiva. Además, Lazo & Garruña (2020) destacan que *Capsicum chinense* es demandante particularmente en fósforo en las etapas iniciales y al inicio de la fructificación; por ello, una deficiencia en este periodo puede limitar de manera significativa el rendimiento.

Calcio y Magnesio

Según Magalhães et al. (2023) el calcio forma parte de la estabilidad en la pared celular, reduciendo la cantidad de desórdenes fisiológicos en los frutos. Al mismo tiempo Coria et al. (2023) determinan la importancia del magnesio en la fotosíntesis y regulación enzimática. La falta de uno o ambos elementos será una limitante en el crecimiento o la productividad.

Enfermedades del cultivo

Fusariosis o Marchitez Vascular (*Fusarium spp.*)

Investigaciones realizadas en invernaderos por Castro et al. (2023), evidenciaron sintomatología de la marchitez vascular: clorosis foliar y pudrición de raíz y tallo, hasta la necrosis del xilema. A nivel fisiológico, se relaciona con lo descrito por Shaheen et al. (2021) para *F. oxysporum f. sp. capsici*. Ambos autores detallan que la colonización y taponamiento del sistema vascular detiene el transporte hídrico generando la muerte de la planta.

Tizón temprano (*Alternaria solani*)

De acuerdo con lo expuesto por Shen et al. (2025), la sintomatología característica de esta afección se manifiesta inicialmente en las hojas basales a través de lesiones necróticas concéntricas rodeadas de halos cloróticos, los cuales son producto de la acción de fitotoxinas.

A nivel celular, Zhao et al. (2025) añaden que este daño metabólico conlleva la degradación de las membranas tilacoidales y el cese de la actividad fotosintética, lo que deriva finalmente en una defoliación prematura de gran severidad.

En cuanto a su propagación, Salotti et al. (2024) señalan que el progreso de la

enfermedad está estrechamente ligado a factores ambientales, específicamente a temperaturas de entre 20 °C y 30 °C combinadas con una humedad relativa que supere el 85 %; este escenario es el que maximiza la capacidad de esporulación y la dispersión del patógeno dentro de los sistemas de producción.

Control biológico

Hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

Pertenecientes al filo *Glomeromycota*, estos hongos establecen una simbiosis con más del 80% de las plantas vasculares, tal como indican Stürmer y Kemmelmeier (2021). En este proceso, se desarrollan arbusculos que funcionan como interfaces metabólicas; según explican Reyes y Cevallos (2025), en este intercambio la planta entrega fotoasimilados a cambio de nutrientes como fósforo, nitrógeno y minerales de baja movilidad. Asimismo, Chaudhary et al.(2025) definen que esta sinergia es fundamental para que la planta hospedera supere el estrés y se preserve la estabilidad del suelo.

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) funcionan como defensa biótica. Según Farhaoui et al. (2025), la Resistencia Sistémica Inducida por Micorrizas (MIR), permite a la planta modular las vías de señalización del ácido jasmónico y el etileno para contrarrestar el ataque de patógenos y nematodos.

Sin embargo, la efectividad de esta respuesta inmune no es uniforme. Según advierten Wang y Chen (2024), el nivel de protección es dependiente del taxón, ya que ciertas especies poseen una mayor presencia competitiva. Este antagonismo se consolida mediante la reestructuración del microbioma rizosférico, favoreciendo el aumento de microorganismos benéficos y, por consiguiente, restringiendo el nicho ecológico disponible para los

fitopatógenos.

Mecanismos de control biológico

Tabla 2 Descripción de los distintos mecanismos utilizados por HMA para el control de patógenos del suelo.

Mecanismo	Descripción
Competencia por espacio	Como explican Umer et al. (2025), los HMA colonizan las raíces y despliegan sus hifas extrarradiculares para ocupar los sitios de infección potenciales. Este mecanismo limita físicamente el espacio disponible, impidiendo que los patógenos logren establecerse o infectar a la planta.
Resistencia sistémica inducida (MIR)	La simbiosis con HMA dispara una respuesta inmunitaria compleja. Según Umer et al. (2025), esta interacción regula rutas hormonales clave, como las del ácido jasmónico, etileno y ácido salicílico. Este proceso estimula la producción de enzimas defensivas, lo que fortalece las barreras de la planta frente al ataque de patógenos.
Modulación de la microbiota rizosférica	Según señalan Weng et al. (2022), los HMA modifican la estructura de la rizosfera al mejorar la presencia de microorganismos beneficiosos. Este cambio logra reducir la presencia de patógenos y crea un ambiente supresivo que obstaculiza el desarrollo de enfermedades.

Mecanismo	Descripción
Cambios morfológicos en la raíz	Weng et al. (2022) sostienen que los HMA inducen una mayor ramificación y el engrosamiento de las raíces. Este cambio estructural no solo optimiza la absorción de agua y nutrientes, sino que también establece barreras físicas adicionales que dificultan la penetración de patógenos

Nota. Se describen los procesos físicos, químicos y biológicos mediante los cuales los HMA reducen el impacto de fitopatógenos.

Tipos de inoculación

Inoculación directa a la raíz

La inoculación directa sobre la raíz implica la aplicación de los propágulos del hongo micorrízico , ya sean esporas, fragmentos de raíces micorrizadas o hifas, directamente en las raíces de las plántulas. Gracias a este contacto inmediato entre hongo y planta, se logra una colonización temprana y sólida. Por ejemplo, en un estudio realizado con plántulas de tomate, la inoculación con *Rhizophagus irregularis* en vivero demostró que esta colonización inicial tenía efectos positivos sobre la microbiota rizosférica, incluso después del trasplante al campo (Moreno et al., 2025). No obstante, este método requiere manipular directamente las raíces, lo que puede causar cierto estrés en las plántulas, además de depender de la disponibilidad de un inóculo fresco y viable para garantizar su eficacia.

Inoculación al sustrato

La inoculación directa al sustrato consiste en integrar los propágulos fúngicos en la zona de crecimiento, ya sea suelo o mezclas comerciales. Esta técnica busca maximizar el contacto con simbiontes, por ejemplo, Ma et al. (2022) demostraron que al aplicar el inóculo de *Funneliformis mosseae* justo debajo de la semilla de *Gleditsia sinensis* optimizan la colonización. Por este medio existe una garantía de que se distribuye de manera uniforme el hongo sin embargo el éxito depende de ajustar la cantidad de inóculo.

Metodología

Ubicación del área experimental

Ubicación política

Este ensayo se llevó a cabo en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en la parroquia Luz de América, en el kilómetro 24 de la vía Santo Domingo – Quevedo.

Ubicación geográfica

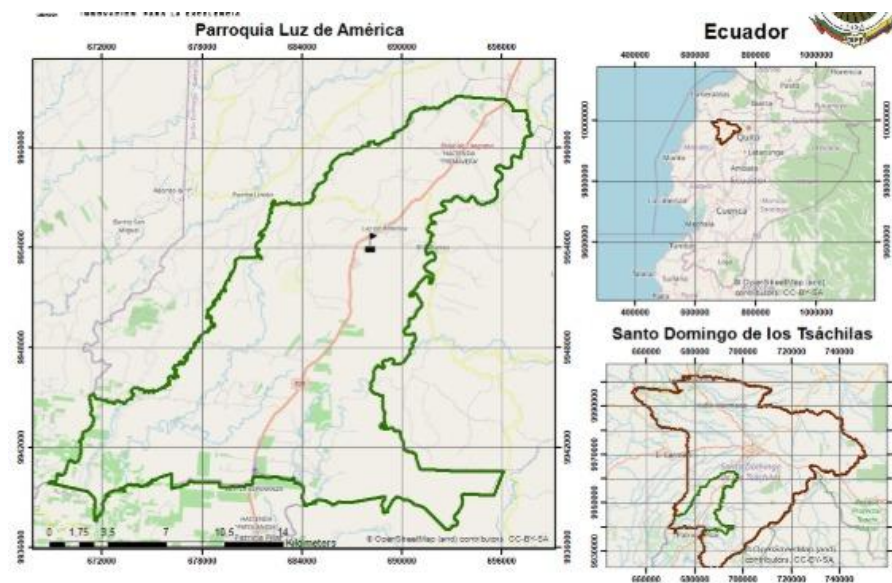
El área experimental estuvo situada en la Hacienda Zoila Luz, lugar donde se encuentra la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, sede Santo Domingo. El sitio cuenta con las siguientes coordenadas UTM:

X: 687984.56 m

Y: 99545009.26 m

Figura 1

Mapa de localización del ensayo experimental



Nota: Ubicación del IASA II campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

Ubicación ecológica

Zona de vida	Bosque húmedo tropical bhT
Temperatura	24-26 °C
Altitud	276 msnm
Humedad	89%
Pluviosidad	2980 mm anuales
Heliofanía	660 horas/luz /año

Materiales

Preparación y delimitación del terreno

Tabla 3

Materiales empleados para la preparación y delimitación del área experimental

Materiales	Equipos	Insumos
Azadón	GPS	Ninguno
Motoguadaña	Celular	
Rastrillo		
Machete		
Cinta métrica		
Estacas		
Piola		
Martillo		
Alambre		

Instalación del sistema de riego

Tabla 4

Materiales utilizados para la instalación del sistema de riego

Materiales	Equipos	Insumos
Manguera	Bomba 3HP	Gasolina
Tanque de 500 litros	Caja de brocas	Agua
Uniones	Destornillador	
Tubos		
Codos		
Niples		
Uniones tipo T		
Abrazadera		
Llaves de paso		
Aspersores		
Adaptadores		
Teflón		
Amarras		
Estacas		

Construcción del encofrado y colocación de letreros en el área experimental

Tabla 5

Materiales para la construcción del encofrado de madera y colocación de letreros

Materiales	Insumos	Equipos
Madera	Ninguno	Taladro
Tornillos		Sierra
Flexómetro		Martillo
Lápiz		
Letreros		
Estacas		
Cinta doble faz		

Preparación del sustrato inoculante

Tabla 6

Materiales para la preparación del sustrato y siembra de plántulas de ají

Materiales	Insumos	Equipos
Palas	Humus	Balanza
Baldes	Melaza	
Plástico	Agua	
Tanque de 200 litros	Micorrizas	
Carretilla	Gallinaza	

Tabla 7

Composición y propiedades físico-químicas del inóculo micorrízico

Parámetro	Valor / Concentración
Composición (% p/p)	
Materia Orgánica	26,00%
Carbono Orgánico	21,88%
Calcio (CaO)	3,15%
Componentes Biológicos	Enriquecido con MVA* y Microorganismos Eficientes
Propiedades Físico-Químicas	
pH (al 10%)	6,8 - 7,0
Densidad	0,80 g/cc
Solubilidad	100% soluble
Aspecto	Sólido fino, color negro oscuro

Siembra

Tabla 8

Materiales utilizados para la siembra de plantas de ají

Materiales	Insumos	Equipos
Croquis	Plántulas de ají var. Escorpión rojo	Cavadora
Libreta de campo		

Control de malezas

Tabla 9

Materiales para el control de malezas

Materiales	Insumos	Equipos
Machetes	Glufosinato de amonio	Bomba de fumigar
Vaso dosificador	Agua	
Azadones		

Control fitosanitario

Tabla 10

Materiales para el control fitosanitario del cultivo

Materiales	Insumos	Equipos
Vaso dosificador	Jabón potásico	Bomba de fumigar
	Skemata	Balanza
	Aniquilador	
	Fosetil-Al	
	Agua	

Bioestimulantes**Tabla 11***Materiales utilizados en la aplicación de bioestimulantes en el cultivo*

Materiales	Insumos	Equipos
Vaso dosificador	Agrotafol combi	Balanza
	Newfol NPK Algas SL	Bomba de fumigar
	Enraizador HV	
	Agua	

Fertilización**Tabla 12***Materiales utilizados para la fertilización en el cultivo*

Materiales	Insumos	Equipos
Recipientes plásticos	Urea	Balanza
Espeque	Muriato de potasio	
	DAP	

Muestreo de suelo y análisis en laboratorio

Tabla 13

Materiales utilizados en el muestreo y análisis en laboratorio

Materiales	Insumos	Equipos
Fundas ziploc	Muestras de suelo	Autoclave
Marcador	PDA	Micropipeta
Tubos de ensayo	Agua destilada	Cámara de flujo laminar
Cajas Petri	Alcohol 70%	Balanza digital
Papel aluminio	Azul de metileno	Placa agitador-calentador
Puntas de micropipeta estériles	Lugol	Incubadora
Papel		Refrigerador
Vasos de precipitación		Mechero de alcohol
Gradilla		Microscopio
Bandejas plásticas		
Tamiz		
Recipientes		
Papel Parafilm		
Tijeras		
Recipientes de vidrio		
Portaobjetos		

Métodos

Establecimiento del ensayo

Preparación del terreno

La preparación del terreno inició con un control mecánico mediante el uso de una motoguadaña, con el propósito de eliminar la vegetación existente en el área. Como complemento, se realizó un control químico utilizando un herbicida específico siendo este glufosinato de amonio, garantizando así una limpieza más eficiente del terreno. Transcurrido el período de acción del producto, se procedió a la remoción del rastrojo, dejando el suelo en condiciones óptimas para la instalación del ensayo experimental.

Delimitación del terreno

En primera instancia, se procedió a la delimitación del área experimental, con el fin de establecer el espacio destinado al ensayo. Para ello, se utilizó una cinta métrica, lo que permitió obtener una mayor exactitud en las mediciones. El área total determinada correspondió a 512 m², superficie que fue posteriormente destinada a la distribución de los tratamientos y sus repeticiones.

Establecimiento de unidades experimentales

Una vez delimitada el área total del ensayo, el terreno fue subdividido en parcelas experimentales, a las cuales se les asignó los tratamientos conforme al croquis experimental previamente establecido. Las dimensiones de cada parcela fueron de 3,20 m de ancho por 4,60 m de largo, lo que corresponde a un área de 14,72 m² por unidad experimental.

En total se establecieron 24 parcelas, resultantes de la combinación de seis

tratamientos con cuatro repeticiones respectivamente.

Instalación del sistema de riego

Se implementó un sistema de riego por aspersión, se hizo uso de un tanque de 500 L, una bomba de 3 HP como fuente de impulsión y una red de tubos y mangueras de PVC. El sistema fue diseñado para abastecer diez aspersores, distribuidos por toda el área experimental, con el fin de proporcionar una cobertura de riego uniforme. El agua fue almacenada en un tanque de 500 L, desde el cual fue impulsada por una bomba a gasolina y a la salida de la misma se conectó la línea principal de conducción por medio de tubos, uniones, niples, codos y uniones tipo T, para asegurar la correcta distribución del caudal hacia los aspersores.

Elaboración e instalación de Suelo enriquecido con M.O.

Para la elaboración de los marcos se utilizaron tiras de madera cortadas con dimensiones de 2,44 m de largo, 1,5 m de ancho y 0,2 m de alto, obteniendo un total de 12 unidades. Los marcos fueron ensamblados con tornillos de 2 ½ pulgadas para garantizar mayor estructura.

Para su instalación, cada marco fue enterrado aproximadamente 10 cm al suelo y ubicados en el área correspondiente a cada tratamiento. Posteriormente, en el interior de los marcos se trazaron dos hileras de 2,44 m por 0,4 m de ancho, con la finalidad de facilitar la aplicación de fertilizante y del sustrato inoculado, así como la siembra de las plantas a evaluar.

Preparación del sustrato con inóculo

El sustrato se preparó a partir de diez sacos de humus de lombriz de 40 kg, mezclados

con dos sacos de gallinaza. La mezcla fue fraccionada en dos partes; en una de ellas se incorporó las micorrizas, mientras que la otra se mantuvo sin inóculo.

Para la preparación del inóculo se necesitó 10 L de agua, 150 mL de melaza y 7,5 kg de micorrizas, aplicándose únicamente 233,9 kg de sustrato. La mezcla fue distribuida de manera homogénea con ayuda de herramientas manuales.

Adicionalmente, para el tratamiento de plántulas inoculadas, se preparó un medio líquido con 5 L de agua, 1 kg de micorrizas y 5 ml de melaza, en el cual las raíces de las plantas de ají fueron sumergidas durante un minuto.

Siembra y fertilización

Una vez preparado el sustrato inoculado y no inoculado, se aplicaron dos baldes de sustrato por tratamiento, conforme al croquis experimental. En todo el ensayo se realizaron los hoyos de siembra con cavadora, sin efectuarse labranza general del terreno. Sin embargo, en los tratamientos con Suelo enriquecido con M.O. Se realizó un remoción localizada del suelo para acondicionar franjas de 40 cm de ancho por 2,44 m de largo, necesarias para la incorporación del sustrato preparado, con y sin inóculo, en función de la evaluación de los métodos de inoculación.

En los tratamientos correspondientes se incorporaron 140 g de sustrato por planta y se aplicó una fertilización de fondo de 20 g, siendo este una mezcla de fosfato diamónico (DAP) y muriato de potasio, calculada con base en el análisis de suelos AQs y los requerimientos nutricionales del cultivo.

Finalmente, se realizó la siembra de plántulas de ají en cada unidad experimental. El marco de plantación fue de 1 m entre hileras y 0,5 m entre plantas, lo que permitió establecer

40 plantas por unidad experimental, dando un total de 960 plantas en todo el área del ensayo.

Riego

El suministro de agua se realizó con un sistema de riego por aspersión aplicando dos veces al día, en horas de la mañana y la tarde, con el fin de evitar estrés hídrico y daño por el conocido efecto lupa. En cada riego se aplicaron aproximadamente 500 L de agua durante 20 minutos, siendo un total de 1000 L diarios, tomando como base una población de 960 plantas, el volumen de agua aplicado por planta fue de 520,83 mL en cada sesión de riego, lo que representó un suministro total diario de 1,041 mL.

Manejo y mantenimiento del área de ensayo

Control de malezas

El control de malezas de cada unidad experimental se realizó de forma manual cada 15 días, abarcando la totalidad del ensayo. En los alrededores se aplicó control químico mediante glufosinato de amonio 125 cc/bomba de 20 L, con el fin de evitar el avance de las malezas.

Control fitosanitario

En la cuarta semana posterior a la siembra del cultivo se presentó una infestación de trips (*Thysanoptera*), mismos que afectaron principalmente las hojas jóvenes. Para su control se aplicó jabón potásico a una dosis de 10 mL/ 20 Litros. De igual manera, se detectó la presencia de hormiga arriera (*Atta cephalotes*), cuyas colonias representaban un riesgo de trozamiento de las plántulas. Para su control, se localizaron los hormigueros y se aplicó el insecticida Skemata, a base de lambda cyhalotrina, a una dosis de 2cc/20 L de agua. La aplicación se realizó en dos ocasiones, con un intervalo de 15 días.

Aplicación de bioestimulantes y fertilizantes

A los 15 días después de la siembra se realizó una aplicación conjunta de bioestimulantes, utilizando extracto de Algas Marinas 2 cc/L y Enraizador 1,5cc/L en 20 Litros de agua, aplicados vía drench, con el objetivo de estimular el desarrollo radicular y favorecer el establecimiento del cultivo. Posteriormente, a los 30 días después de la siembra, se aplicó Newfol NPK 3cc/20 L de agua para promover el crecimiento vegetativo y mejorar el balance nutricional de las plantas.

La fertilización se efectuó de forma fraccionada, siguiendo un plan basado en los resultados del AQs y en los requerimientos nutricionales del cultivo, con el fin de suplir la demanda de nutrientes en cada etapa fenológica. A continuación, se detallan las cantidades aplicadas:

Tabla 14

Aplicación de fertilizantes

Fertilización	Fertilizante aplicado	Cantidad kg	Dosis por planta
<i>1era fertilización:</i> (Fertilización de fondo)	18-46-0 + Muriato de K	13,13 kg DAP + 11,72 kg de muriato	20 g de la mezcla
<i>2da fertilización:</i> 30 días	Urea	10,30 kg de Urea	10,3 g
<i>3era fertilización:</i> 45 días	Urea + Muriato de K	10,30 kg de urea + 11,72 kg de muriato K	20 g de la mezcla

Podas

Durante el ciclo del cultivo se efectuaron dos podas: una poda de formación efectuada a los 40 días después de la siembra, orientada a mejorar la estructura vegetativa, y una poda de mantenimiento a los 65 días, destinada a eliminar tejido senescente. En ambas podas se aplicó un fungicida de acción curativa a base de Fosetil de Al, a fin de evitar infecciones fúngicas a través de las heridas de podas, a una dosis de 50g /20 Litros de agua.

Tutorado

El tutorado se realizó a los 75 días después de la siembra, cuando las plantas ya presentaban un adecuado desarrollo vegetativo y el inicio de la etapa reproductiva. Este se realizó con ayuda de estacas de madera que fueron colocadas junto a cada planta.

Toma de datos

Las variables a evaluar durante la etapa de desarrollo fueron: altura y diámetro, esto se realizó dos semanas después de la siembra y posteriormente se fue evaluando cada 15 días. En la etapa de fructificación se evaluó el peso promedio de frutos por tratamiento, las variables altura y diámetro se evaluaron hasta la etapa de floración. Y finalmente se evaluó el crecimiento radicular para cada tratamiento.

Manejo del experimento: Fase de laboratorio

Preparación de medio de cultivo

Se prepararon 500 mL de medio PDA donde se disolvieron 19,5 g del reactivo en agua destilada. Esta fue homogeneizada (150 °C), bajo agitación magnética (850 rpm) durante 15 minutos.

Seguido de esto, el medio se esterilizó en el autoclave (121 °C por 20 min). Por último, para evitar cualquier contaminación ambiental, el vertido en placas Petri se llevó a cabo bajo la cámara laminar.

Aislamiento de patógenos

Se tomaron muestras de suelo del área de investigación. Las muestras fueron tamizadas con el fin de eliminar residuos y obtener una muestra homogénea. Seguido de esto, se pesaron 10 g de suelo y se colocaron en 90 mL de agua destilada esteril, agitando la mezcla durante 2 minutos para obtener una solución. A partir de esta, se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-3} , las cuales fueron sembradas en placas Petri con el medio de cultivo previamente preparado. Finalmente, las placas fueron rotuladas e incubadas a 30 °C para su crecimiento.

Identificación de patógenos del suelo

Luego del aislamiento, los microorganismos desarrollados en las placas Petri fueron observados al microscopio con el objetivo de identificar los patógenos en el suelo del área experimental.

Replicación de patógenos identificados

Dos patógenos fueron sembrados en nuevas cajas petri con PDA. Se tomó una pequeña porción de micelio utilizando pinzas estériles y se transfirió a las placas, repitiendo el proceso de siembra bajo condiciones asépticas en la cámara de flujo laminar.

Interacción patógeno-raíz

Para evaluar el éxito de la inoculación frente a los patógenos, se recolectaron muestras

radiculares de tres tratamientos distintos. Tras extraer el sistema radicular de una planta representativa por grupo, se quitaron los residuos de suelo con agua destilada .

Las raíces fueron fragmentadas aproximadamente 0,5 cm y colocadas en placas Petri realizadas con anterioridad mismas que contenían los patógenos previamente replicados. Finalmente, las placas fueron selladas e incubadas para su posterior observación y evaluación de resultados.

Evaluación físico-químicas del fruto

Extracción de capsaicinoides

Para la extracción de capsaicinoides se empleó metanol como disolvente, mientras que el hexano se usó para la eliminación de los ácidos grasos. Se pesó 1 gramo de la muestra de ají previamente seca y molida y se colocó en un vaso de precipitación de 100 mL, al cual se adicionaron 25 mL de hexano; la mezcla se agitó por 10 minutos, se filtró y el residuo se dejó secar para eliminar el solvente. Posteriormente, a la muestra desengrasada se añadieron 25 mL de metanol y se agitó durante 15 minutos. Del extracto obtenido se tomó 1 mL, el cual se diluyó en 9 mL, finalmente se realizó la lectura de los resultados utilizando un espectrofotómetro.

Determinación de la Firmeza del fruto

Para esta actividad se recolectaron cinco frutos maduros por tratamiento. La dureza se evaluó mediante el uso del penetrómetro, con el fin de determinar la resistencia del tejido del fruto, parámetro asociado a la firmeza y a la calidad postcosecha. Las mediciones se realizaron en cada muestra y los resultados se expresan como el promedio por tratamiento.

Determinación de sólidos solubles totales

Para la extracción del jugo, los frutos fueron cortados y se retiraron las semillas; posteriormente, la pulpa fue triturada en un mortero hasta obtener un extracto homogéneo. Con ayuda de una cuchara una porción de jugo fue colocada en el refractómetro para la determinación de sólidos solubles totales, expresados en grados Brix (°Bx), unidad que representa el porcentaje de azúcares presentes en el fruto. Esta medición se realizó para evaluar la calidad interna y el grado de madurez del ají. Los valores fueron promediados por tratamiento.

Determinación de pH del fruto

El pH del fruto se determinó utilizando el mismo extracto de jugo de ají empleado en la medición de sólidos solubles. Se tomó 1 gramo de muestra y se le añadió 10 ml de agua destilada para realizar la medición mediante un peachímetro digital, para evaluar la acidez del fruto y su relación con la calidad del producto. Los resultados obtenidos se expresaron como el promedio por tratamiento.

Diseño experimental

Tabla 15

Factores a evaluar

Factores	Simbología	Niveles
Suelo	S1 S2	Suelo testigo Enriquecido con M.O

Factores	Simbología	Niveles
Inóculo	I1 I2 I3	Testigo Enriquecido con M.O + micorrizas Enriquecido con M.O + plantas inoculadas

Tratamientos a evaluar

Tabla 16

Tratamientos a evaluar en el ensayo

Tratamiento	Codificación	Designación
T1	T1R1	Enriquecido con M.O testigo
T2	T2R2	Enriquecido con M.O + micorrizas
T3	T3R3	Enriquecido con M.O + plantas inoculadas
T4	T4R4	Suelo testigo
T5	T5R5	Suelo + micorrizas
T6	T6R6	Suelo + plantas inoculadas

Nota. La tabla muestra los seis tratamientos evaluados

Tipo de diseño experimental

En el presente estudio se realizó en un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con arreglo bifactorial, en el cual se evaluaron 2 niveles A (Suelo) y 3 niveles B de (Inóculo), constando de 6 tratamientos y 4 bloques, representando un total de 24 unidades experimentales.

Análisis estadístico

Tabla 17

Esquema de ADEVA

FV	Fórmula	GL
Bloque	$(b - 1)$	3
Inóculo (A)	$(A - 1)$	2
Suelo (B)	$(B - 1)$	1
A x B	$(A - 1)(B - 1)$	2
Error	$GLT_o - GL_b - GL_A - GL_B - GL_{A \times B}$	15
Total	$(n - 1)$	23

Nota. La presente tabla indica la descomposición del esquema ADEVA

Análisis funcional

Para poder comparar las diferencias significativas entre medias se empleó la prueba de Tukey con un nivel de significancia al 5%.

Características de la unidad experimental

Número de unidades experimentales	24 UE
Número de plantas totales:	960 plantas
Número de plantas por unidad experimental:	40 plantas

Forma de unidad experimental:	Rectangular
Ancho de la unidad experimental:	3,20 m
Largo de la unidad experimental:	4,60 m
Área de las unidades experimentales:	14,72 m ²
Área total del ensayo:	512 m ²

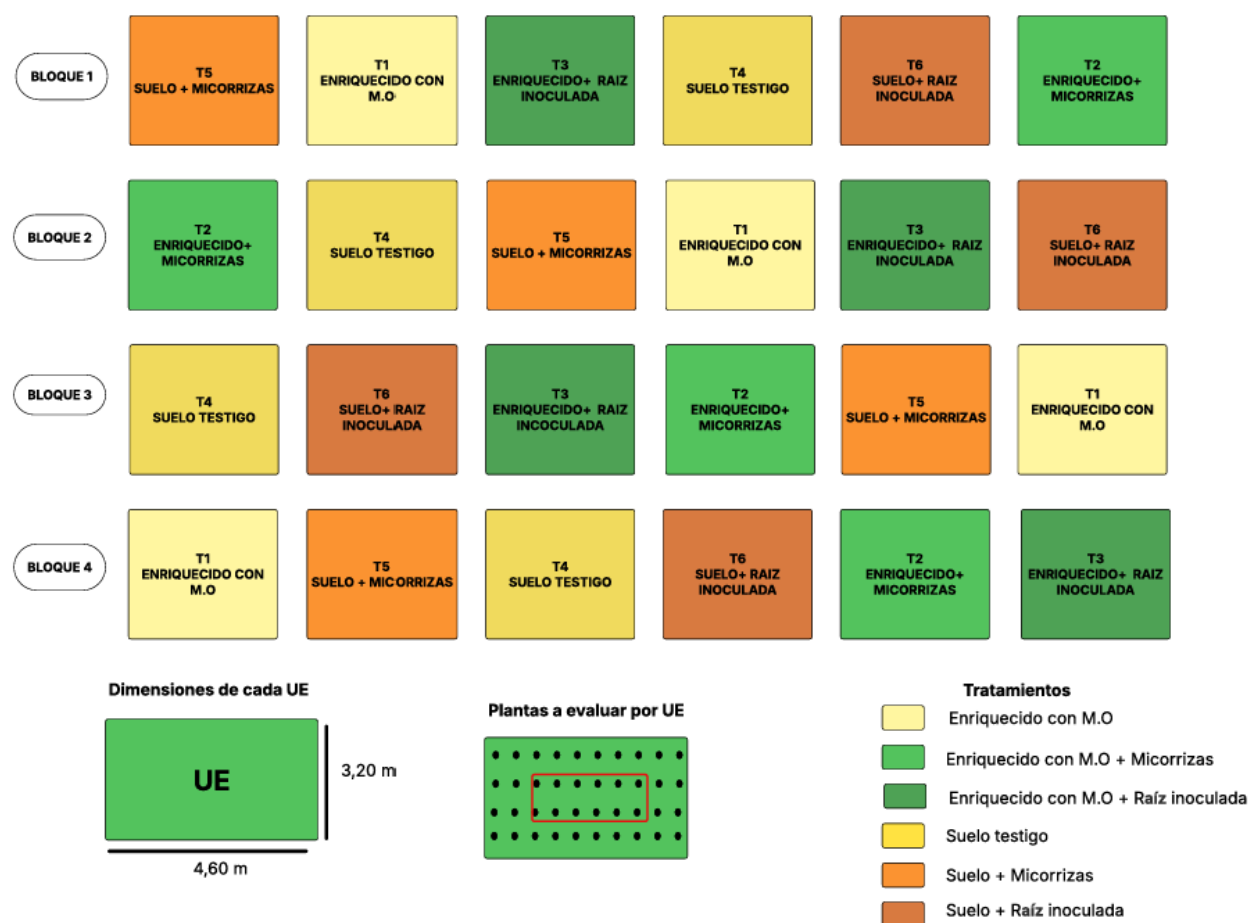
Variables de estudio

- Altura
- Diámetro del tallo
- Peso del fruto
- Peso de raíz
- Evaluación físico- química del fruto

Croquis del ensayo

Figura 2

Croquis de la distribución de las unidades experimentales



Nota. La figura muestra la distribución de las unidades experimentales dentro del área de ensayo.

Resultados

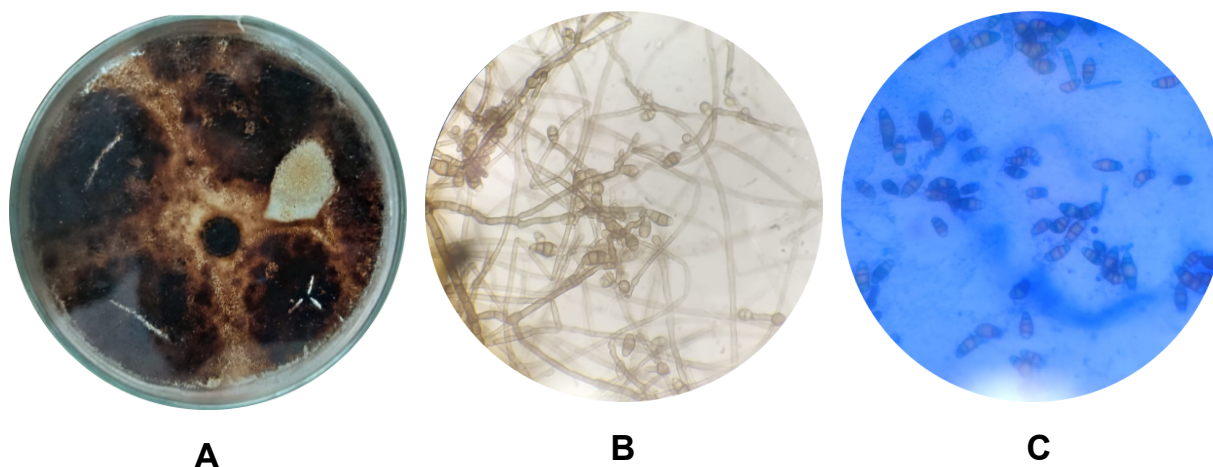
Control de patógenos

Alternaria

Identificación

Figura 3

Morfología de *Alternaria spp.* A) Colonia en placa Petri. B) Micelio septado y conidios en cadena (40x, lugol). C) Conidios en forma de mazo (40x, azul de metileno).



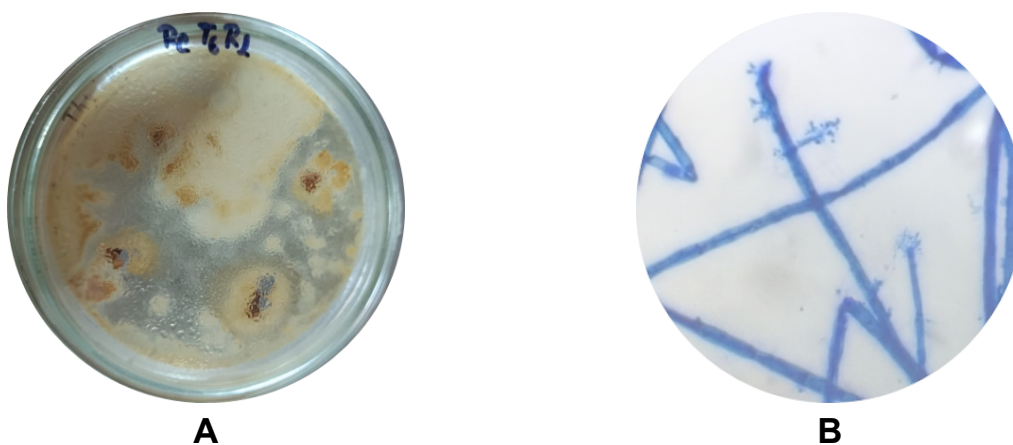
Para la identificación microscópica de *Alternaria sp.*, se emplearon dos técnicas de tinción complementarias (Figura 3). El montaje con Lugol (Fig. 3-B) permitió observar las estructuras con su pigmentación natural, facilitando la identificación de cadenas de conidios. Por otro lado, la tinción con Azul de Metileno (Fig. 3-C) se utilizó para incrementar el contraste de las paredes celulares, permitiendo visualizar con mayor definición los tabiques internos (septos) horizontales y verticales que confirman la estructura muriforme del conidio.

Fusarium

Identificación

Figura 4

Fusarium sp. A) Colonia en placa Petri. B) Micelio septado y células conidiógenas tipo fiálide (40x, azul de metileno).



Para la caracterización morfológica de *Fusarium sp.*, se recurrió a la tinción con Azul de Metileno (Fig. 4-B). Debido a la naturaleza hialina de este hongo, el uso del colorante fue necesario para generar el contraste necesario, permitiendo visualizar con nitidez la septación de las hifas y distinguir la forma de las células conidiógenas, confirmando así la identidad del género mediante sus estructuras reproductivas

Control antagonismo

Figura 5

Evaluación macroscópica del grupo control frente a la inoculación de patógenos. Tratamiento control inoculado con *Fusarium spp.* (afectado por contaminación) (A) .Tratamiento control inoculado con *Alternaria spp.*(B)

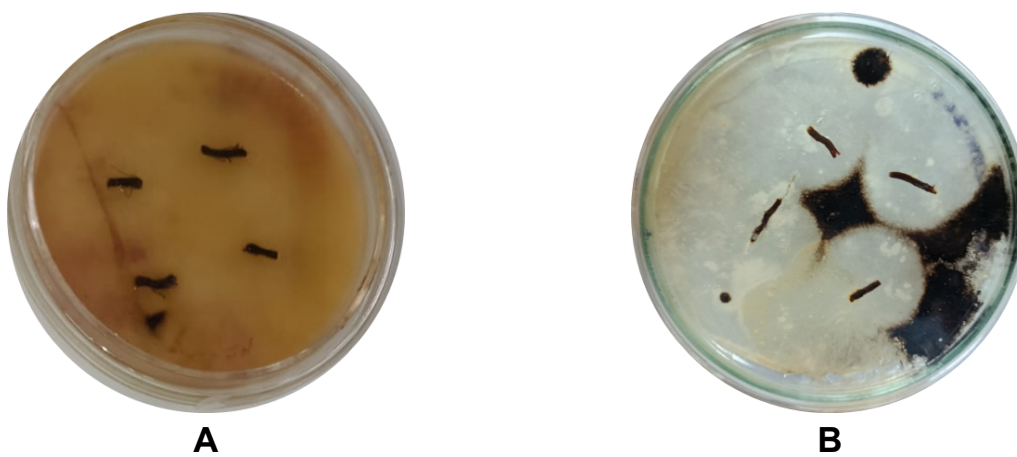


En las unidades experimentales del grupo control, se observó la colonización fúngica sobre los segmentos radiculares. En el tratamiento destinado a *Fusarium spp.* (A), la morfología colonial típica, micelio blanco/crema, se vio enmascarada por el crecimiento de un hongo de pigmentación oscura, indicativo de una contaminación cruzada o ambiental que desplazó al patógeno objetivo. Por otro lado, el tratamiento con *Alternaria spp.* (B) mostró el desarrollo característico del patógeno, con colonias de micelio negro/pardo extendiéndose radialmente desde los tejidos radiculares hacia el medio de cultivo.

Raíz + Hongos micorrízicos arbusculares

Figura 6

Antagonismo contra Fitopatógenos. A) Exclusión competitiva de *Fusarium sp.* en la superficie radical. B) Inhibición del crecimiento y zonas de restricción frente a *Alternaria sp.*



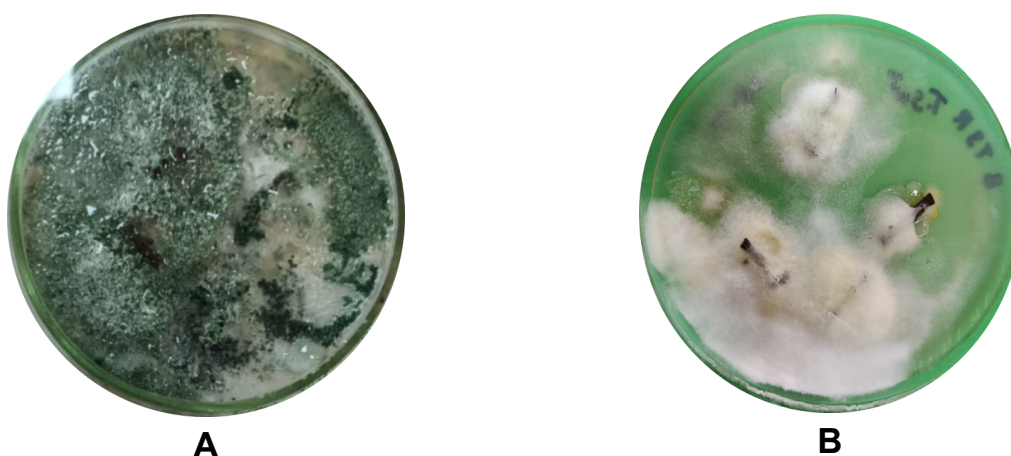
La protección radicular frente a *Fusarium spp.* (A) se atribuye al mecanismo de competencia por espacio. La ausencia de desarrollo del patógeno sobre la raíz válida la exclusión competitiva descrita por Umer et al. (2025), donde los HMA buscan ocupar preventivamente los sitios de infección potenciales en la corteza, bloqueando físicamente el establecimiento del hongo invasor.

Respecto a *Alternaria spp.* (B), la zona de inhibición observada es indicativa de mecanismos de Resistencia Sistémica Inducida (MIR) (Umer et al., 2025). Adicionalmente, la preservación de la estructura radicular respalda lo planteado por Weng et al. (2022) sobre cambios morfológicos; específicamente, el engrosamiento de las paredes celulares actúa como una barrera física que restringe la invasión del patógeno.

Materia orgánica + Hongos micorrízicos arbusculares

Figura 7

Tratamiento destinado a *Fusarium spp.*, evidenciando un desplazamiento total por *Trichoderma spp.* (A). Tratamiento destinado a *Alternaria spp.*, dominado por contaminación de hongos saprófitos del sustrato (B).



En la unidad inoculada con *Fusarium spp.* (A), no se observó el desarrollo del patógeno debido a la proliferación dominante de colonias granulares verdes, identificadas como *Trichoderma spp.*, el cual ejerció una exclusión competitiva total. Por otro lado, en el tratamiento frente a *Alternaria spp.* (B), el crecimiento del patógeno fue enmascarado por una rápida colonización de hongos saprófitos oportunistas de micelio blanco.

Los resultados demuestran que la incorporación al sustrato es una estrategia menos precisa que la inoculación directa. La aplicación directa sobre la raíz garantiza una colonización más eficiente, estableciendo una barrera física y bioquímica focalizada que el tratamiento al sustrato, con su efecto antagonista inespecífico, no pudo igualar.

Variables productivas

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable altura a los 15 días después de la siembra

- **Altura**

Tabla 18

Análisis de varianza para la variable altura a los 15 días de la siembra

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36,02	8	4,50	1,28	0,3225
Bloque	24,90	3	8,30	2,36	0,1121
Suelo	0,45	1	0,45	0,13	0,7242
Inóculo	0,22	2	0,11	0,03	0,9697
Suelo*Inóculo	10,45	2	5,22	1,49	0,2574
Error	52,67	15	3,51		
Total	88,68	23			

Nota. CV= 11,38% indica precisión y consistencia en los datos.

En la tabla 18 se presenta el análisis de varianza para la variable altura de planta a los 15 días después de la siembra. Con un nivel de significancia del 5%, se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas para el factor suelo (suelo directo vs suelo enriquecido con M.O., $p=0,7242$), de igual manera para el factor inóculo ($p=0,9697$).

Así mismo, al analizar la interacción entre ambos factores (suelo / inóculo), se obtuvo un valor de $p=0,2574$, lo que indica que el efecto de los inoculantes no depende de la preparación del suelo en esta etapa temprana. El coeficiente de variación registrado fue del 11,38%, validando la precisión de los datos tomados en ambas condiciones de siembra.

Análisis de media para la variable altura e interacciones a los 15 días de siembra

Tabla 19

Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable altura a los 15 días de siembra

Factor	Designación	Medias altura
Suelo	Enriquecido con M.O.	16,61 ^A
	Suelo testigo	16,33 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	16,59 ^A
	Testigo	16,46 ^A
	Raíz inoculada	16,36 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

El análisis de varianza muestra que la altura de las plantas a los 15 días después del trasplante no estuvo significativamente influenciada por el factor suelo, registrándose valores estadísticamente similares entre el suelo enriquecido (16,61 cm) y la siembra directa (16,33 cm). Así mismo, los métodos de inoculación (suelo y raíz) fueron similares al del testigo para esta variable. Esta ausencia de diferencias significativas podría estar relacionada con el corto periodo de evaluación transcurrido, dado que muchas respuestas fisiológicas a la simbiosis micorrízica requieren de un periodo de tiempo más largo para ser evidentes en la elongación del tallo.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable altura a los 30 días después de la siembra

- **Altura**

Tabla 20

Análisis de varianza para la variable altura a los 30 días de la siembra

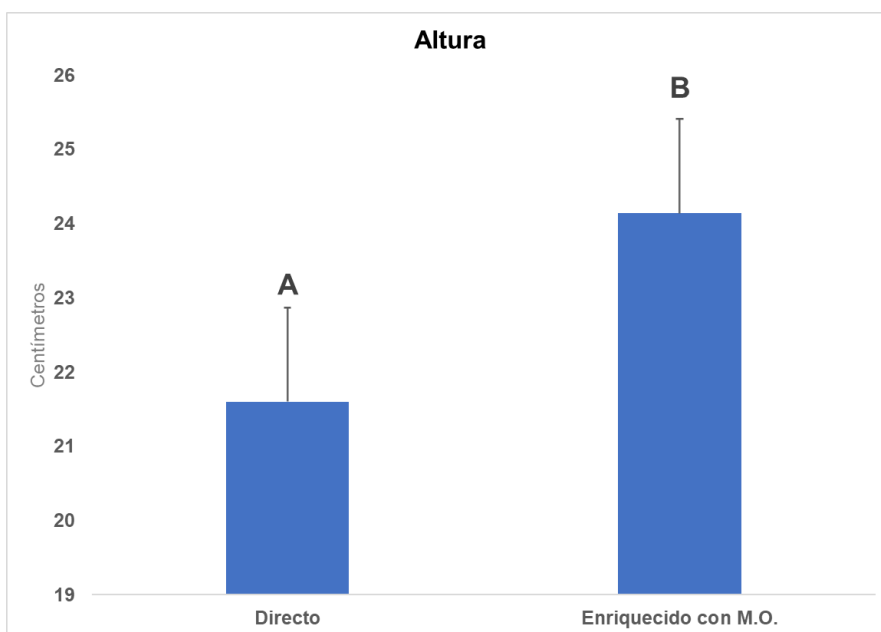
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49,54	8	6,19	1,40	0,2746
Bloque	5,80	3	1,93	0,44	0,7304
Suelo	38,56	1	38,56	8,7	0,01
Inóculo	1,74	2	0,87	0,20	0,824
Suelo*Inóculo	3,44	2	1,72	0,39	0,6847
Error	66,51	15	4,43		
Total	116,05	23			

Nota. CV= 9,21% indica precisión y consistencia en los datos.

El análisis de varianza detectó una diferencia estadística altamente significativa ($p=0,0100$) para el factor suelo, lo que evidencia que la preparación del terreno influye directamente en el crecimiento vertical de la planta en esta etapa. Por el contrario, para el factor Inóculo, el p-valor fue de 0,8240, indicando que no existen diferencias significativas entre los inóculos y el testigo. De igual forma, la interacción Suelo $\times$ Inóculo ($p=0,6847$) no resultó significativa.

Figura 8

Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 30 días de siembra.



La comparación de medias entre los tipos de suelo que se observa en el gráfico, indica que el suelo enriquecido desarrolló una mayor altura (24,14 cm) en comparación a la siembra directa (21,60 cm). Este mismo efecto se ve reflejado en la conformación de grupos estadísticos diferentes (A y B), es decir, que los métodos de preparación del suelo muestran respuestas distintas ante esta variable.

Análisis de medias para la variable altura e interacciones a los 30 días de siembra

Tabla 21

Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable altura a los 30 días de siembra

Factor	Designación	Medias altura
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	24,14 ^B
	Directo	21,60 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	23,25 ^A
	Testigo	22,70 ^A
	Raíz inoculada	22,66 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

El análisis de varianza muestra que la altura de las plantas tuvo diferencia significativa en el factor suelo, registrándose valores estadísticamente superiores en el suelo enriquecido con M.O. (24,14 cm) en comparación con la siembra directa (21,60 cm). Por el contrario, los métodos de inóculo fueron similares al del testigo para esta variable. Esta diferencia a favor del suelo enriquecido con M.O. podría estar relacionada con las mejores condiciones físicas del suelo enriquecido que facilitan el enraizamiento, mientras que la ausencia de respuesta en los inóculos sugiere que la simbiosis micorrízica aún requiere de un periodo de tiempo más largo para manifestar diferencias significativas.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable altura y diámetro del tallo los 45 días después de la siembra

- **Altura**

Tabla 22

Análisis de varianza para la variable altura a los 45 días de la siembra

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	53,06	8	6,63	0,50	0,8344
Bloque	6,10	3	2,03	0,15	0,925
Suelo	28,17	1	28,17	2,14	0,1637
Inóculo	12,28	2	6,14	0,47	0,6354
Suelo*Inóculo	6,51	2	3,26	0,25	0,7836
Error	197,02	15	13,13		
Total	250,07	23			

Nota. CV= 12,58% indica precisión y consistencia en los datos.

El análisis de varianza determinó que no existen diferencias estadísticas para ninguno de los factores. A diferencia de la evaluación anterior (30 días), el factor suelo dejó de ser significativo, obteniendo un p-valor de 0,1637. De igual manera, el factor Inóculo mantuvo su comportamiento no significativo ($p=0,6354$), y no se detectó interacción entre ambos factores ($p=0,7836$).

- **Diámetro del tallo**

Tabla 23

Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 45 días de la siembra

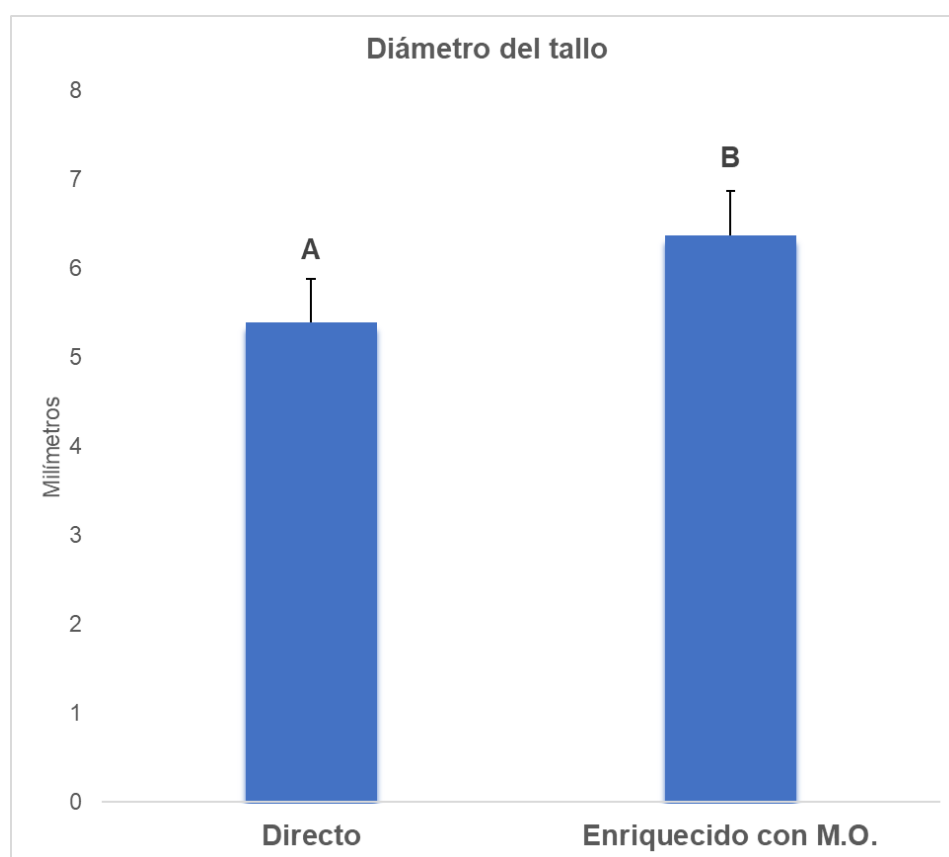
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,65	8	1,08	1,76	0,1654
Bloque	0,84	3	0,28	0,46	0,7165
Suelo	5,75	1	5,75	9,33	0,008
Inóculo	1,64	2	0,82	1,34	0,2926
Suelo*Inóculo	0,41	2	0,21	0,34	0,7205
Error	9,24	15	0,62		
Total	17,89	23			

Nota. CV= 13,33% indica precisión y consistencia en los datos.

El análisis de varianza encontró una diferencia estadística significativa ($p=0,0080$) para el factor suelo, demostrando que la remoción del terreno influyó positivamente en el engrosamiento del tallo. Por el contrario, el factor inóculo obtuvo un p-valor de 0,2926, indicando que no hubo diferencias significativas entre aplicar micorrizas y el testigo. La interacción suelo $\times$ inóculo ($p=0,7205$) tampoco resultó significativa.

Figura 9

Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 45 días de siembra.



La comparación de medias entre los tipos de suelo que se observa en el gráfico, indica que el suelo enriquecido desarrolló un mayor diámetro de tallo (6,38 mm) en comparación a la siembra directa (5,40 mm), confirmando que la preparación del terreno generó respuestas distintas (grupos A y B) ante esta variable

Análisis de media para la variable altura y diámetro del tallo a los 45 días de siembra

Tabla 24

Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 45 días de siembra

Factor	Designación	Medias altura	Medias Diámetro
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	29,90 ^A	6,38 ^B
	Directo	27,73 ^A	5,40 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	29,43 ^A	6,23 ^A
	Raíz inoculada	29,21 ^A	5,83 ^A
	Testigo	27,81 ^A	5,59 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

El análisis a los 45 días indica que, la altura se niveló entre los tipos de suelo y el diámetro se mantuvo significativamente mayor en el suelo enriquecido con M.O. (6,38 mm) frente a la siembra directa (5,40 mm).

Respecto a los inóculos, aunque estadísticamente todos los tratamientos compartieron el mismo rango (A), se observa una tendencia numérica superior a favor de la inoculación biológica. Tanto el enriquecido como las plantas inoculadas presentaron valores absolutos mayores (29,43 cm de altura) en comparación al testigo (27,81 cm), lo que sugiere un efecto promotor latente que, si bien no es significativo aún, supera el desempeño promedio de las plantas sin tratar.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable altura y diámetro del tallo a los 60 días después de la siembra

- **Altura**

Tabla 25

Análisis de varianza para la variable altura a los 60 días de la siembra

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	137,89	8	17,24	0,65	0,7241
Bloque	42,28	3	14,09	0,53	0,6664
Suelo	84,86	1	84,86	3,21	0,0933
Inóculo	4,43	2	2,21	0,08	0,9201
Suelo*Inóculo	6,32	2	3,16	0,12	0,8882
Error	396,43	15	26,43		
Total	534,32	23			

Nota. CV= 13,07% indica precisión y consistencia en los datos.

Los resultados demuestran que no existen diferencias significativas en la altura de las plantas ($p > 0,05$). Específicamente, el factor Suelo ($p=0,0933$) refleja el cierre de la brecha de crecimiento entre tratamientos. Adicionalmente, los valores obtenidos para el Inóculo ($p=0,9201$) y la interacción Suelo x Inóculo ($p=0,8882$) ratifican la uniformidad del cultivo, descartando una influencia determinante de estas variables sobre la elongación del tallo en esta fase de desarrollo.

- **Diámetro del tallo**

Tabla 26

Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 60 días de la siembra

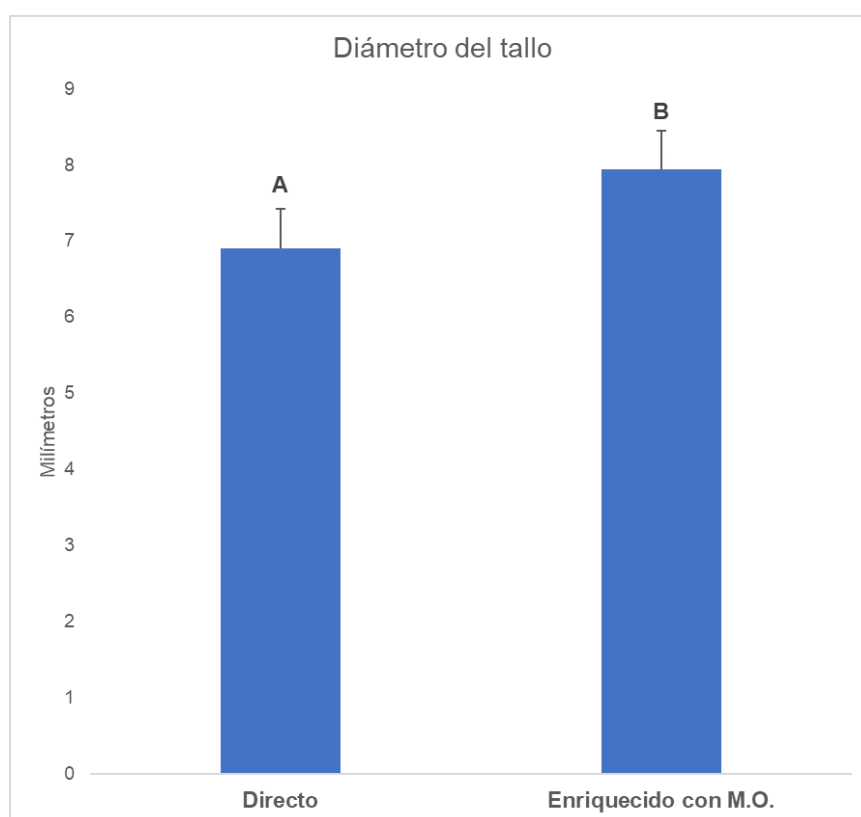
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,85	8	1,48	1,50	0,2367
Bloque	1,31	3	0,44	0,44	0,7256
Suelo	6,43	1	6,43	6,52	0,022
Inóculo	4,06	2	2,03	2,06	0,1624
Suelo*Inóculo	0,05	2	0,03	0,03	0,9741
Error	14,79	15	0,99		
Total	26,64	23			

Nota. CV= 13,37% indica precisión y consistencia en los datos.

Los datos confirman la dominancia del factor edáfico sobre el desarrollo del diámetro. Con un valor de $p=0,0220$, el tipo de suelo se consolidó como la única variable determinante en esta fase del cultivo. Dicha tendencia contrasta con los resultados del Inóculo ($p=0,1624$) y la interacción ($p=0,9741$), los cuales evidencian que la inoculación no generó un impacto estadístico en el grosor del tallo, dependiendo este último casi exclusivamente del manejo físico del sustrato.

Figura 10

Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 60 días de siembra.



La comparación de medias entre los tipos de suelo indica que el suelo enriquecido favoreció el desarrollo de un mayor diámetro de tallo (7,94 mm) en comparación a la siembra directa (6,91 mm). Este efecto se ve reflejado en la conformación de grupos estadísticos distintos (A y B), es decir, que la condición física del suelo enriquecido permite mantener una ventaja significativa en la robustez de la planta, aun cuando otras variables como la altura ya se hayan nivelado

Análisis de media para la variable altura y diámetro del tallo a los 60 días de siembra

Tabla 27

Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 60 días de siembra

Factor	Designación	Medias altura	Medias Diámetro
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	41,21 ^A	7,94 ^B
	Directo	37,45 ^A	6,91 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	39,50 ^A	7,86 ^A
	Raíz inoculada	39,5 ^A	7,55 ^A
	Testigo	38,74 ^A	6,87 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

Se registraron diferencias significativas a favor del suelo enriquecido, el cual propició un diámetro de 7,94 mm frente a los 6,91 mm de la siembra directa.

Sin embargo, este patrón no se replicó en el factor inóculo. Los métodos evaluados no se diferenciaron estadísticamente del testigo, evidenciando que la bioestimulación no fue suficiente para generar cambios significativos en el calibre de la planta en esta etapa.

Esta ventaja en el suelo enriquecido con M.O. sugiere que las condiciones físicas del suelo enriquecido siguen favoreciendo el engrosamiento secundario del tallo, mientras que la homogeneidad estadística en los tratamientos biológicos indica que la respuesta a la simbiosis micorrízica mantiene un comportamiento uniforme en esta etapa del cultivo.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable altura y diámetro del tallo a los 75 días después de la siembra

- **Altura**

Tabla 28

Análisis de varianza para la variable altura a los 75 días de la siembra

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	186,19	8	23,27	0,61	0,757
Bloque	30,30	3	10,1	0,26	0,850
Suelo	132,45	1	132,45	3,47	0,0823
Inóculo	21,55	2	10,78	0,28	0,7581
Suelo*Inóculo	1,88	2	0,94	0,02	0,9757
Error	573,04	15	38,2		
Total	759,23	23			

Nota. CV= 12,26% indica precisión y consistencia en los datos.

El análisis de varianza determinó que no existen diferencias estadísticas para ninguno de los factores. El factor suelo continuó siendo no significativo, obteniendo un p-valor de 0,0823. De igual manera, el factor inóculo conservó su comportamiento no significativo ($p=0,7581$), y no se detectó interacción entre ambos factores ($p=0,9757$)

- **Diámetro**

Tabla 29

Análisis de varianza para la variable diámetro del tallo a los 75 días de la siembra

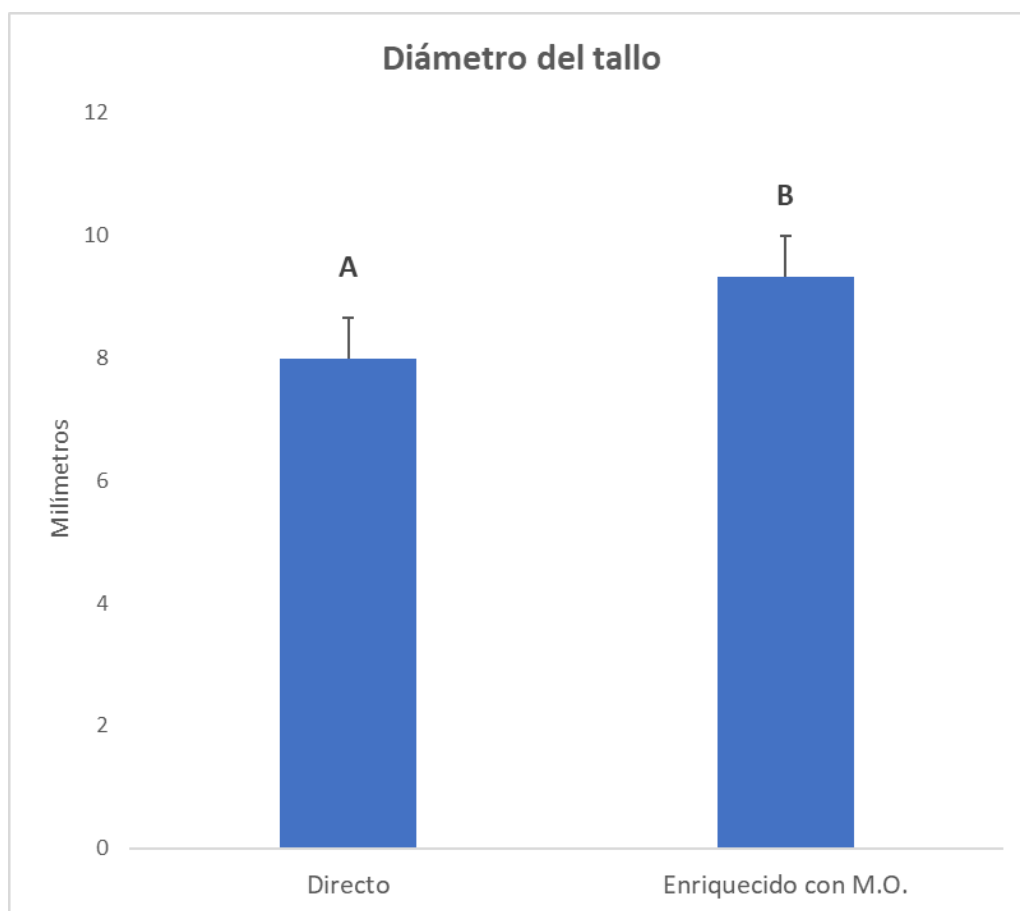
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,92	8	2,36	1,37	0,286
Bloque	0,18	3	0,06	0,03	0,9911
Suelo	10,87	1	10,87	6,29	0,0241
Inóculo	7,42	2	3,71	2,15	0,1514
Suelo*Inóculo	0,45	2	0,22	0,13	0,8797
Error	25,93	15	1,73		
Total	44,85	23			

Nota. CV= 15,2% indica precisión y consistencia en los datos.

Los datos confirman la preponderancia del factor edáfico sobre el biológico en el desarrollo del diámetro. Con un valor de $p=0,0241$, el tipo de suelo se consolidó como la única variable determinante en esta fase del cultivo. Dicha tendencia contrasta con los resultados del Inóculo ($p=0,1514$) y la interacción ($p=0,8797$), los cuales evidencian que la inoculación no generó un impacto estadístico en el grosor del tallo, dependiendo este último casi exclusivamente del manejo del sustrato.

Figura 11

Comparación de medias mediante el Test de Tukey para el factor suelo a los 75 días de siembra.



La tendencia observada anteriormente se consolida en la etapa final. A los 75 días, la brecha entre tratamientos se mantiene: el suelo enriquecido (B) permitió alcanzar un diámetro promedio de 9,32mm, estadísticamente superior a los 7,98 mm registrados en la siembra directa (A). Esto confirma gráficamente que la restricción física del suelo afectó el engrosamiento de forma permanente durante el ciclo evaluado

Análisis de media para la variable altura y diámetro del tallo a los 75 días de siembra

Tabla 30

Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables altura y diámetro del tallo a los 75 días de siembra

Factor	Designación	Medias altura	Medias Diámetro
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	52,75 ^A	9,32 ^B
	Directo	48,05 ^A	7,98 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	51,71 ^A	9,41 ^A
	Raíz inoculada	49,99 ^A	8,44 ^A
	Testigo	49,50 ^A	8,10 ^A

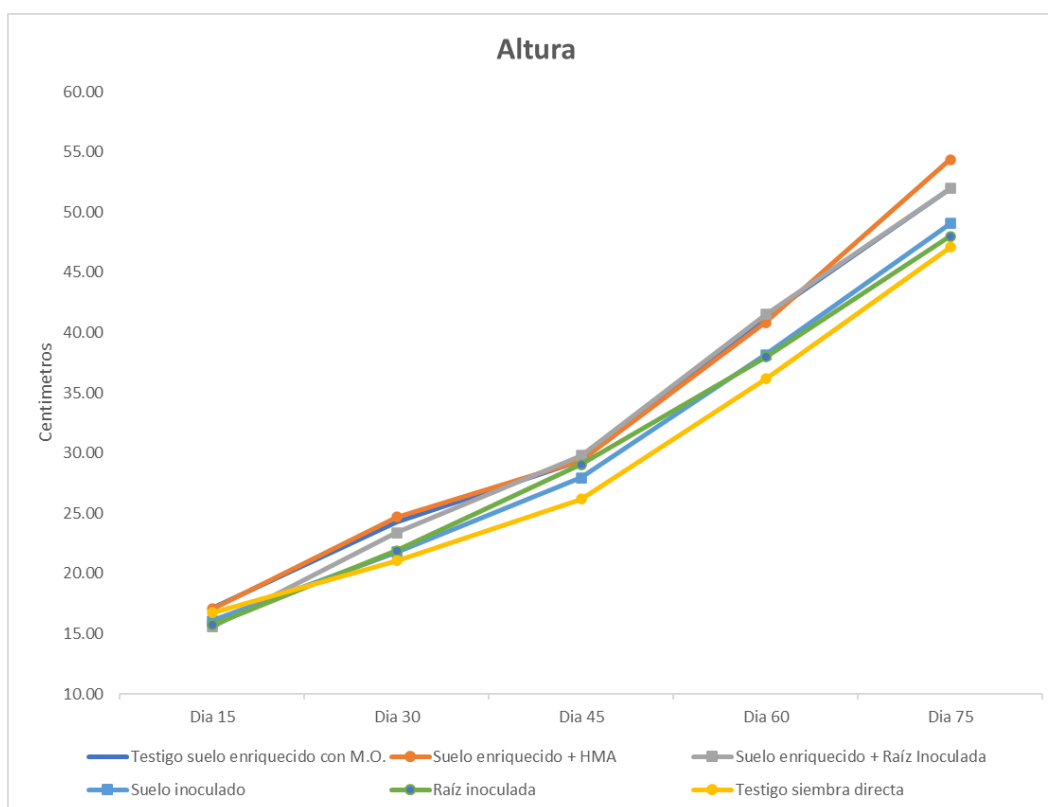
Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

En cuanto al factor suelo, la altura de las plantas logró una estabilización estadística, no encontrándose diferencias significativas entre el sistema enriquecido y la siembra directa; sin embargo, para el diámetro del tallo, registró valores estadísticamente superiores en el suelo enriquecido con M.O. (9,32 mm, letra b) frente a la siembra directa (7,98 mm, letra a). No obstante, el factor Inóculo mostró un comportamiento homogéneo en ambas variables, donde las estrategias de inoculación (raíz y suelo) resultaron estadísticamente similares al testigo, indicando que en esta etapa fenológica el desarrollo del cultivo respondió principalmente a las condiciones físicas del suelo más que a la aplicación de micorrizas.

Comparación de medias para la variable altura a los 15, 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra.

Figura 12

Comparación de promedios de la variable altura



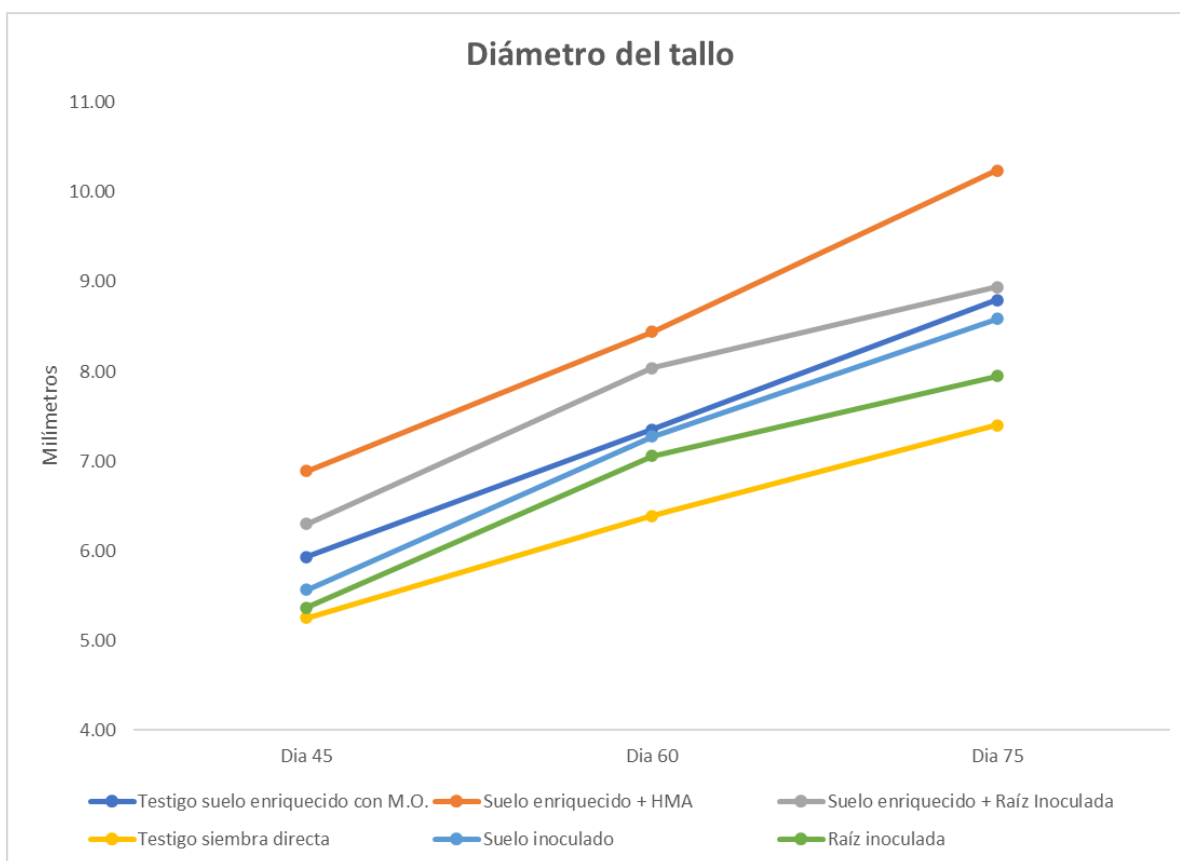
La dinámica de crecimiento se ve caracterizada por una alta uniformidad inicial (15 dds) donde los promedios variaron entre 15,58 y 17,16 cm. Con el avance del tiempo, específicamente desde los 45 días, se observó una ligera estratificación numérica favorable a los tratamientos en suelo enriquecido, destacándose la interacción de suelo enriquecido + HMA con el mayor promedio final de 54,38 cm, en contraste con el testigo en siembra directa que registró el valor más bajo con 47,10 cm. No obstante, tal como se determinó en el análisis de

varianza, esta dispersión visual entre las curvas no representó diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) al cierre de los 75 días, confirmando que el desarrollo vertical del cultivo se mantuvo estable independientemente del manejo físico del suelo o la estrategia de aplicar micorrizas.

Comparación de medias para la variable diámetro a los 45, 60 y 75 días después de la siembra.

Figura 13

Comparación de promedios de la variable diámetro del tallo



En esta variable, la influencia de la preparación del suelo se hizo visualmente evidente: el grupo de tratamientos establecidos en suelo enriquecido con M.O. tendió a posicionarse en la parte superior de la gráfica, superando al grupo de siembra directa.

Los datos finales (75 dds) evidencian una brecha en el grosor del tallo: el tratamiento de Suelo Enriquecido + HMA lidera con 10,24 mm frente a los 7,40 mm del testigo en Siembra Directa.

A pesar de la ausencia de significancia estadística en el factor inóculo, el análisis gráfico revela que la aplicación al sustrato tendió a maximizar el diámetro dentro de cada grupo de suelo. Esta consistencia supera levemente a la observada en la inoculación directa a la raíz, indicando una posible ventaja agronómica de la inoculación edáfica.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable peso de 10 frutos

Tabla 31

Análisis de varianza para la variable peso de 10 frutos

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	835,94	8	104,49	0,66	0,7178
Bloque	467,62	3	155,87	0,99	0,4262
Suelo	89,86	1	89,86	0,57	0,4628
Inóculo	215,86	2	107,93	0,68	0,5206
Suelo*Inóculo	62,60	2	31,30	0,20	0,8226
Error	2373,48	15	158,23		
Total	3209,42	23			

Nota. El análisis estadístico no reveló diferencias significativas para ninguno de los factores de

variación evaluados. Específicamente, para el factor Inóculo, se obtuvo un p-valor de 0,5206, indicando que los diferentes métodos de inoculación micorrízica, directa a la raíz o al sustrato, no influyen diferencialmente en el peso final de los frutos en comparación con el control. De igual manera, el factor Suelo ($p=0,4628$) y la interacción Suelo*Inóculo ($p=0,8226$) resultaron no significativos, demostrando que bajo las condiciones de este ensayo, los tratamientos biológicos no alteraron la acumulación de biomasa en los frutos.

Análisis de media para la variable peso de 10 frutos

Tabla 32

Comparación de medias mediante el Test de tukey para la variable peso de 10 frutos

Factor	Designación	Medias peso
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	63,35 ^A
	Directo	59,48 ^A
Inóculo	Testigo	63,66 ^A
	Suelo inoculado	63,41 ^A
	Raíz inoculada	57,17 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

La Tabla 32 presenta la comparación de medias para la variable 'peso de 10 frutos', donde la prueba de Tukey ($p > 0,05$) confirmó la ausencia de diferencias significativas entre los niveles de los factores evaluados. Tanto para el factor Suelo, donde el tratamiento enriquecido (63,35 g) y el directo (59,48 g) compartieron la literal 'A', como para el factor Inóculo, en el que el Testigo (63,66 g), la inoculación al sustrato (63,41 g) y la inoculación a la raíz (57,17 g)

mostraron un comportamiento estadísticamente homogéneo, se evidencia que la aplicación de los diferentes métodos de inoculación micorrízica no generó variaciones en la acumulación de biomasa del fruto bajo las condiciones de este ensayo.

Análisis estadístico (ANOVA) para la variable peso fresco y seco de raíces.

- **Peso fresco**

Tabla 33

Análisis de varianza para la variable peso fresco de la raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1923,45	8	240,43	0,86	0,5672
Bloque	861,68	3	287,23	1,03	0,4076
Suelo	579,68	1	579,68	2,08	0,17
Inóculo	227,15	2	113,57	0,41	0,6727
Suelo*Inóculo	254,95	2	127,47	0,46	0,6417
Error	4184,52	15	278,97		
Total	6107,97	23			

La Tabla 33, resume el análisis de varianza para la variable peso fresco de la raíz, evidenciando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Tanto el factor Suelo ($p=0,17$) como el factor Inóculo ($p=0,6727$) y su interacción ($p=0,6417$) arrojaron valores de probabilidad superiores a 0,05, lo que conlleva a aceptar la hipótesis nula de igualdad de medias. Estos resultados indican que la acumulación de biomasa radicular no se vio alterada cuantitativamente por los distintos métodos de inoculación ni por la incorporación de materia orgánica, sugiriendo que el desarrollo del sistema radical fue

homogéneo en todos los bloques experimentales, independientemente de la estrategia de manejo biológico aplicada.

- **Peso seco**

Tabla 34

Análisis de varianza para la variable peso seco de la raíz

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	209,4	8	26,17	0,96	0,4991
Bloque	63,43	3	21,14	0,78	0,5249
Suelo	79,42	1	79,42	2,92	0,1082
Inóculo	55,56	2	27,78	1,02	0,384
Suelo*Inóculo	10,99	2	5,49	0,20	0,8194
Error	408,22	15	27,21		
Total	617,62	23			

En la Tabla 34, presenta el análisis de varianza para la variable peso seco de la raíz'. Los resultados confirman lo antes encontrado en el peso fresco, no existen diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación. El factor Suelo obtuvo un p-valor de 0,1082, mientras que el factor Inóculo alcanzó un valor de 0,384; ambos superiores al nivel de significancia establecido ($p > 0,05$). De igual forma, la interacción Suelo*Inóculo ($p = 0,8194$) resultó no significativa. Esto permite inferir que la acumulación de materia seca y la estructura de los tejidos radiculares se mantuvieron uniformes en todos los tratamientos.

Análisis de media para las variables peso fresco y seco de raíces.

Tabla 35

Comparación de medias mediante el Test de tukey para las variables peso fresco y seco de raíces.

Factor	Designación	Peso fresco	Peso seco
Suelo	Suelo enriquecido con M.O.	35,24 ^A	14,34 ^A
	Directo	25,41 ^A	10,70 ^A
Inóculo	Suelo inoculado	34,03 ^A	13,80 ^A
	Raíz inoculada	30,45 ^A	13,37 ^A
	Testigo	26,50 ^A	10,37 ^A

Nota. Las medias que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí (Tukey $p > 0,05$).

La Tabla 35 confirma la ausencia de diferencias significativas en las variables de biomasa radical. El análisis Tukey, $p > 0,05$, estableció una agrupación homogénea 'A' para todos los tratamientos evaluados. En consecuencia, se concluye que ni la modificación del suelo ni los métodos de inoculación impactaron el peso fresco o seco de la raíz. El desarrollo estructural subterráneo se comportó de manera uniforme, indicando que la acumulación de fitomasa radicular fue independiente de las estrategias de manejo implementadas.

Análisis físico químico

- **Firmeza**

Tabla 36

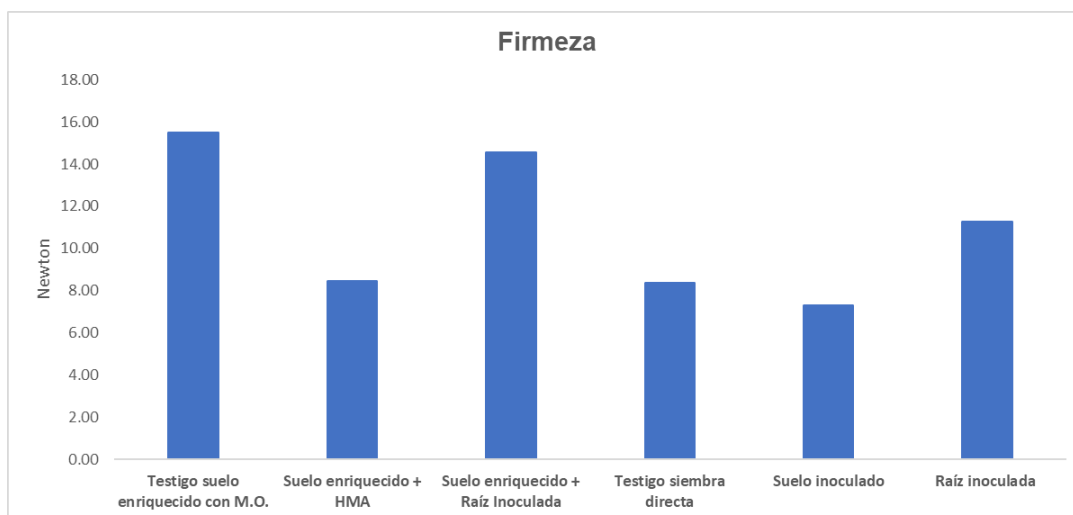
Comparación de promedios para la firmeza en los diferentes tratamientos

T1	T2	T3	T4	T5	T6
15,5	8,44	14,56	8,36	7,3	11,27

En la tabla 36, se presentan los valores promedio de firmeza del fruto obtenidos para cada tratamiento. Los datos revelan una variabilidad considerable entre los grupos evaluados, donde el tratamiento testigo suelo enriquecido con M.O. (T1) registró la mayor firmeza con un promedio de 15,50, seguido por el tratamiento suelo enriquecido + raíz Inoculada(T3) con 14,56. En contraste, los tratamientos que involucraron la inoculación directa al suelo mostraron una tendencia a la baja en la consistencia del fruto; específicamente, el tratamiento suelo inoculado (T5) obtuvo el valor mínimo del ensayo con 7,30, mientras que suelo enriquecido + HMA (T2) , mismo que había destacado previamente por su alto crecimiento vegetativo, descendió hasta un promedio de 8,44, situándose cerca de los valores más bajos registrados.

Figura 14

Gráfico de barras en base a promedios de la dureza



La gráfica figura 14, representa el comportamiento de los frutos con respecto a la firmeza como respuesta a los tratamientos aplicados. Se observa una relación entre el mayor diámetro de tallo y la menor dureza del fruto en el tratamiento T2, se explica por la competencia fisiológica en la distribución del calcio. Según demostraron Bonomelli et al. (2021), el calcio se moviliza preferentemente hacia los órganos de mayor tasa transpiratoria (hojas y tallos en crecimiento activo). El rápido crecimiento vegetativo del T2 secuestró el calcio disponible, limitando su deposición en las paredes celulares del fruto. Esta deficiencia localizada impidió la correcta formación de pectatos de calcio y la reticulación de la pared celular, tal como describen Wu et al. (2023), lo que resultó en una menor integridad estructural y firmeza del tejido a pesar del mayor tamaño de la planta.

- **Brix**

Tabla 37

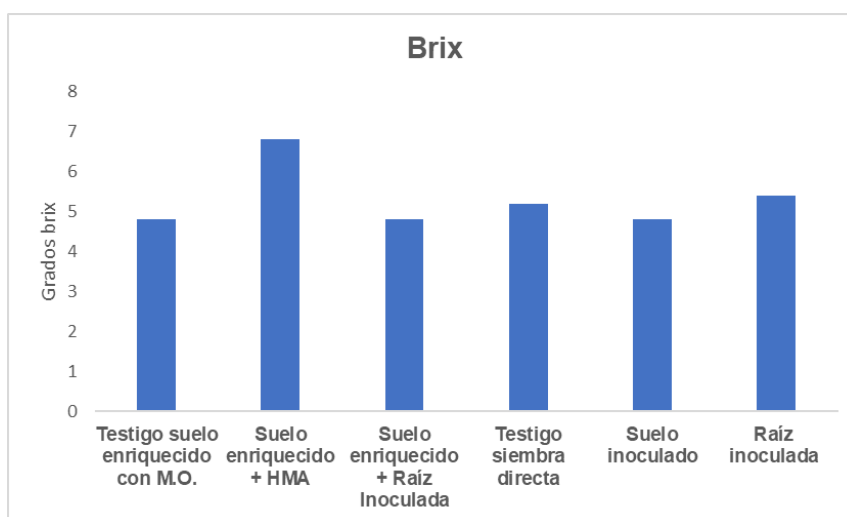
Comparación de promedios de los grados brix en los diferentes tratamientos

T1	T2	T3	T4	T5	T6
4,8	6,8	4,8	5,2	4,8	5,40

En la tabla 37, se presentan los contenidos de sólidos solubles totales (expresados en °Brix) de los frutos cosechados. Los valores oscilaron entre un mínimo de 4,8 y un máximo de 6,8 °Brix. Al analizar los datos numéricos, destaca de manera sobresaliente el tratamiento T2 (suelo enriquecido + HMA), el cual alcanzó el valor máximo de 6,8, superando ampliamente al resto de los tratamientos que se mantuvieron en un rango inferior y más homogéneo de entre 4,8 y 5,4. Es necesario hacer notar que tratamientos como el testigo suelo enriquecido con M.O. (T1), suelo enriquecido + raíz Inoculada (T3) y el suelo inoculado (T5) compartieron el mismo valor base de 4,8 °Brix, evidenciando que la inoculación por sí sola no garantiza un aumento en los sólidos solubles si no está acompañada de las condiciones de suelo adecuadas.

Figura 15

Gráfico de barras en base a promedios de los grados brix



El gráfico figura 15, destaca al tratamiento T2 por encima del promedio general, que se mantuvo plano en los demás casos. Este pico en los grados Brix no es un dato aislado, sino que confirma la relación biológica sugerida anteriormente: mayor madurez implica más azúcar y menor firmeza. Los resultados indican que las plantas del T2 adelantaron su etapa de maduración respecto a los testigos y tratamientos de campo, los cuales, al momento de la cosecha, conservaban características de 'fruto verde' con menor concentración de azúcares.

- **pH del fruto**

Tabla 38

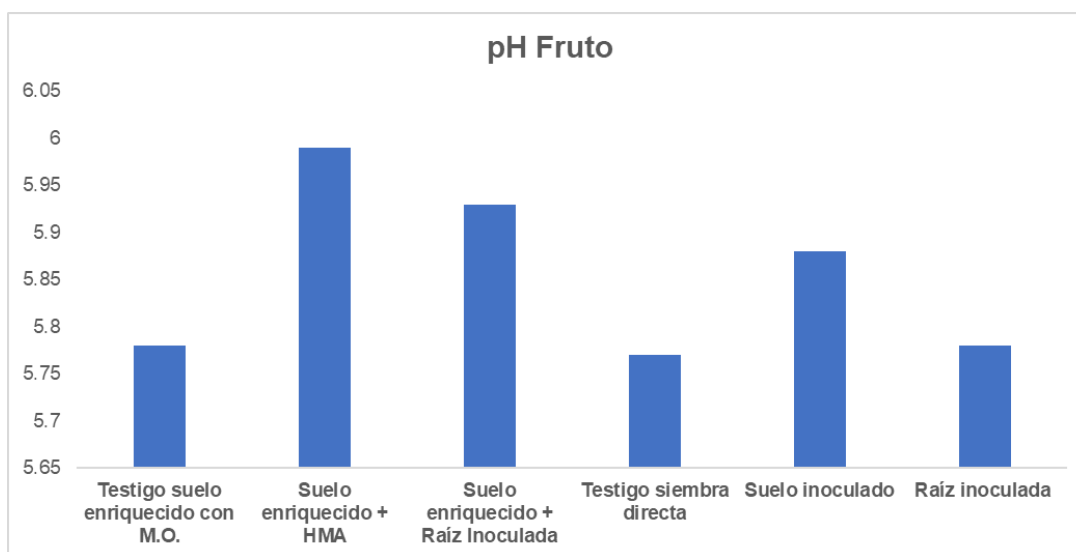
Comparación de promedios del pH en los diferentes tratamientos

T1	T2	T3	T4	T5	T6
5,78	5,99	5,93	5,77	5,88	5,78

En la tabla 38, se detallan los valores de pH registrados en los frutos cosechados, los cuales oscilaron en un rango ácido estrecho entre 5,77 y 5,99. Al analizar el comportamiento por tratamiento, se observa que la aplicación de inóculo tendió a elevar ligeramente el pH en comparación con los testigos. El valor promedio más alto correspondió al tratamiento T2 (suelo enriquecido + HMA) con 5,99, seguido por el T3 (suelo enriquecido + raíz Inoculada) con 5,93. Los tratamientos testigo (T1 y T4) establecen los niveles más bajos de acidez (pH 5,78 y 5,77), mostrando una estabilidad notable entre ellos.

Figura 16

Gráfico de barras en base al potencial hidrógeno de los diferentes tratamientos



La representación gráfica del pH Figura 16, permite visualizar una tendencia consistente donde la inoculación, particularmente en el sustrato, ejerce un efecto leve de alcalinización o neutralización de la acidez del fruto. Las barras correspondientes a los tratamientos de suelo inoculado (T2 y T5) sobresalen por encima de sus respectivos testigos en ambos ambientes de cultivo. Este incremento, aunque sutil, podría estar asociado a la actividad metabólica de los

microorganismos inoculados, los cuales pueden influir en la absorción de cationes o en el metabolismo de ácidos orgánicos dentro de la planta. Sin embargo, es importante notar que todos los tratamientos se mantuvieron dentro de un rango de pH < 6.0, característico de frutos de *Capsicum* en estado de madurez fisiológica adecuada.

- **Niveles de capsaicina por medio de absorbancia**

Tabla 39

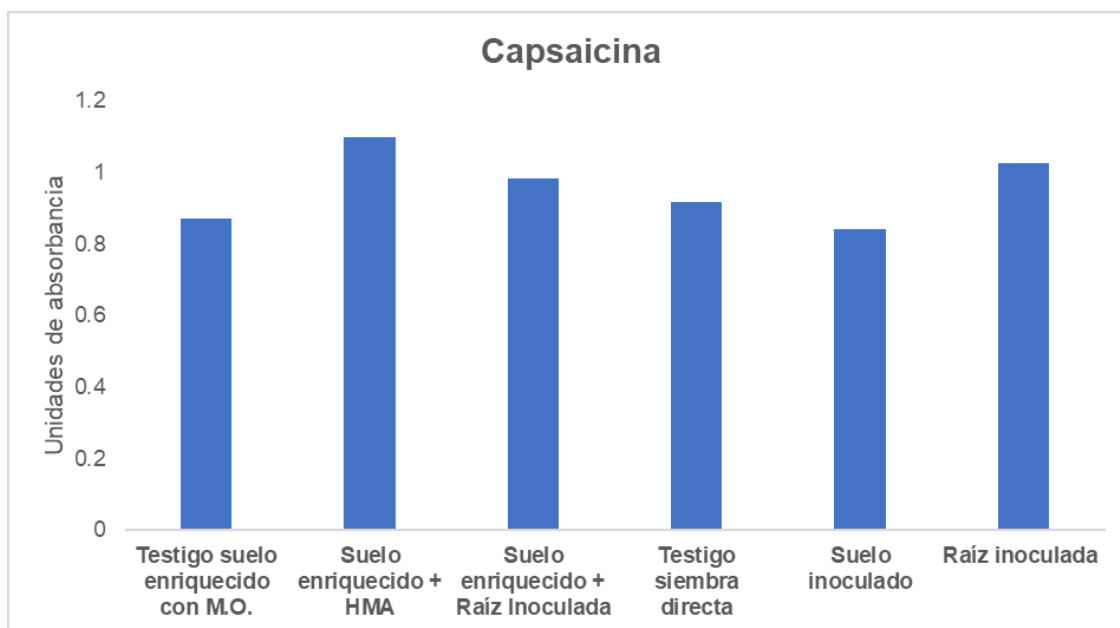
Comparación de absorbancia en los diferentes tratamientos

T1	T2	T3	T4	T5	T6
0,872	1,100	0,982	0,917	0,841	1,026

La tabla 39, refleja la cuantificación de capsaicina mediante absorbancia a 320 nm, indicador directo de la pungencia del fruto. Los valores oscilaron entre 0,841 y 1,1; revelando diferencias marcadas en la capacidad de biosíntesis de alcaloides según el tratamiento. El tratamiento T2 (suelo enriquecido + HMA) presentó la mayor acumulación de estos metabolitos secundarios (1,1), superando significativamente a los testigos y al resto de las variantes. Le siguió en efectividad el tratamiento T6 (raíz inoculada) con 1,026, mientras que el T5 mostró la menor concentración (0,841), sugiriendo que la disponibilidad de nutrientes o la interacción microorganismo-planta en ese caso específico no favoreció la ruta metabólica de los capsaicinoides.

Figura 17

Gráfico de barras en el nivel de capsaicina de los diferentes tratamientos



El comportamiento gráfico en la Figura 17, confirma que la inoculación, bajo condiciones controladas (T2), potenció la respuesta metabólica de la planta hacia la producción de compuestos picantes. Biológicamente, la capsaicina se sintetiza en la placenta del fruto y su acumulación suele coincidir con la madurez fisiológica máxima. El pico observado en el T2 es consistente con los altos grados brix reportados anteriormente: al tener un ciclo más avanzado, estos frutos tuvieron el tiempo y la energía metabólica suficiente para sintetizar y acumular mayor cantidad de capsaicina antes de la cosecha. Por el contrario, los niveles basales observados en los testigos indican frutos que, aunque formados, aún no habían alcanzado su potencial máximo de pungencia.

Análisis beneficio - costo

Costos de producción fijos

Tabla 40

Costos de producción fijos para el establecimiento del cultivo de Ají Escorpión (Capsicum chinense) para 512 m²

Rubro / Concepto	Cantidad	V. Unitario (\$)	Valor Total (\$)
A. COSTOS DIRECTOS GENERALES			
Plántulas de Ají Escorpión	960	0,07	67,2
Fertilizantes (Químicos/Solubles)	1	40	40
Fitosanitarios (Insect/Fungicidas)	1	35	35
Materiales (Piolas, Estacas, Tutorado)	1	25	25
Herramientas (Depreciación)	1	10	10
Sistema de riego (Bomba, tuberías, mangueras, aspersores)	1	250	250
B. MANO DE OBRA DE MANTENIMIENTO			
Riegos, Deshierbas, Podas (6 meses)	10	18	180
Cosecha General	6	18	108
C. COSTOS INDIRECTOS			
Imprevistos (5% sobre directos)	1	25,66	25,66
TOTAL COSTOS COMUNES			740,86
<i>Costo proporcional por Tratamiento</i>			123,47

Nota. Los costos se calculan en dólares americanos (\$)

La Tabla 40, detalla la estructura de los costos de producción necesarios para el establecimiento y manejo general del cultivo de Ají Escorpión, con una inversión total de

\$740,86 USD. Este monto abarca los rubros transversales a todo el ensayo, incluyendo la adquisición de material vegetal (960 plántulas), fertilizantes, insumos fitosanitarios y herramientas, así como la mano de obra requerida para las labores culturales de mantenimiento como riegos, podas y la cosecha. Para fines del análisis económico comparativo, este valor global fue distribuido entre los seis tratamientos evaluados, estableciendo un costo base proporcional de \$123,47 USD por tratamiento.

Costos de producción variables

Tabla 41

Costos de producción variables diferenciados por tratamiento

Concepto Variable	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1. SUSTRATOS						
Humus de Lombriz + Gallinaza	24	24	24	6	6	6
2. MANO DE OBRA (Instalación)						
Prep. Mezcla y Llenado vs Hoyado	24	24	24	12	12	12
Aplicación del Inóculo (Jornal)	0	2,5	0,9	0	2,5	0,9
3. INSUMOS BIOLÓGICOS						
Micorrizas + Melaza	0	3,8	0,5	0	3,8	0,5
TOTAL COSTO VARIABLE	48	54,3	49,4	18	24,3	19,4

Nota: Los costos se calculan en dólares americanos (\$)

La Tabla 41, detalla los costos variables para cada tratamiento, divididos en sustratos, mano de obra e insumos biológicos. Se observa que el rubro de sustratos presenta dos niveles de gasto definidos: \$24,00 USD para los tratamientos enriquecidos (T1, T2 y T3) y \$6,00 USD

para los tratamientos establecidos en suelo (T4, T5 y T6). En cuanto a los componentes de inoculación (insumos y aplicación), los costos varían según el método empleado: la incorporación sólida al sustrato (T2 y T5) suma un total de \$6,30 USD (\$3,80 en insumos + \$2,50 en jornal), mientras que la técnica de inmersión líquida (T3 y T6) representa un costo acumulado de \$1,40 USD (\$0,50 en insumos + \$0,90 en jornal). La sumatoria final de estos rubros sitúa los costos variables totales en un rango que va desde los \$18,00 USD en el tratamiento testigo en suelo (T4) hasta los \$54,30 USD en el tratamiento enriquecido con micorrizas (T2).

Rentabilidad y relación costo - beneficio

Tabla 42

Análisis de rentabilidad económica y relación Beneficio/Costo (B/C) en un área de cultivo correspondiente a 512 m².

Tratamiento	Peso 10 Frutos (g)	Frutos estimados /planta	Rendimiento Total (kg)	Ingreso Bruto (\$)	Costo Total (Fijo + Var)	UTILIDAD NETA (\$)	Relación B/C
T1	65,5 g	178	186,54	186,54	171,48	15,06	1,09
T2	65,3 g	216	225,68	225,68	177,78	47,90	1,27
T3	59,1 g	238	225,04	225,04	172,88	52,16	1,30
T4	61,7 g	149	147,1	147,10	141,48	5,62	1,04
T5	61,5 g	201	197,78	197,78	147,78	50,00	1,34
T6	55,3 g	226	199,96	199,96	142,88	57,08	1,40

La Tabla 42, detalla el desempeño financiero de los tratamientos, revelando que la rentabilidad no es proporcional al rendimiento bruto. Aunque el tratamiento T2 (Sustrato

Enriquecido + Micorrizas) generó el mayor Ingreso Bruto (\$225,68 USD) derivado de su alto rendimiento, sus elevados costos operativos limitaron su utilidad neta a \$47,90 USD. Por el contrario, el tratamiento T6 (Suelo + Plantas Inoculadas) demostró la mayor eficiencia económica, alcanzando la máxima utilidad neta del ensayo (\$57,08 USD) y la mejor relación Beneficio/Costo (1,40). Esto indica que, financiera y logísticamente, la estrategia de inoculación líquida en suelo es superior, retornando 40 centavos de ganancia por dólar invertido, mientras que el tratamiento T4 (Testigo en Suelo), al carecer de soporte nutricional y biológico, presentó únicamente 4 centavos de retorno por cada dólar invertido.

Estos indicadores financieros se correlacionan directamente con el comportamiento agronómico y sanitario reportado en la investigación. Si bien los resultados productivos mostraron que el T2 obtuvo los mayores promedios en variables como peso del fruto y rendimiento por planta debido a la sinergia entre el sustrato rico y el hongo, el análisis económico evidencia que el T6 logró un punto de máxima eficiencia. Esto se explica porque la inoculación en raíces permitió a las plantas del T6 superar las limitaciones del suelo pobre y mantener una baja incidencia de patógenos, desarrollando un sistema radicular eficiente capaz de sostener una producción comercial competitiva (199,96 kg) sin incurrir en los gastos excesivos de preparación de sustratos del T2. En conclusión, aunque el T2 maximiza la biomasa, el T6 maximiza la rentabilidad al utilizar la micorriza como un sustituto económico de los insumos externos.

Conclusiones

Se acepta la hipótesis alternativa, ya que al menos uno de los métodos de inoculación aplicados generó diferencias significativas en la calidad metabólica del fruto y en la eficiencia económica del cultivo. A diferencia de los testigos, los tratamientos inoculados con Hongos

Micorrízicos Arbusculares (HMA) demostraron una capacidad superior de adaptación, especialmente en el tratamiento T2 (Enriquecido con M.O + micorrizas), donde la simbiosis temprana potenció el desarrollo radicular y la vigorosidad inicial de la planta.

Los ensayos *in vitro* confirmaron que los HMA brindan bioprotección contra *Fusarium spp.* y *Alternaria sp.* por exclusión competitiva. En campo, el tratamiento T6 aseguró la viabilidad y sanidad del cultivo incluso bajo condiciones de estrés nutricional, validando la micorrización como una estrategia sostenible para suelos de baja fertilidad.

La inoculación con micorrizas (HMA), especialmente en suelo enriquecido (T2), potencia significativamente la calidad del fruto al incrementar los sólidos solubles (6,8 °Brix) y los niveles de capsaicina (1,100 abs), acelerando la maduración fisiológica del Ají Escorpión.

La inoculación directa a la raíz en condiciones de siembra directa (T6) representa la mayor eficiencia financiera del estudio, con una relación B/C de 1,40, demostrando que el uso de micorrizas maximiza la utilidad neta al reducir costos de inversión en sustratos.

Recomendaciones

Implementar la inoculación en sustrato durante la fase de vivero utilizando 140 g de inóculo por planta. Esta práctica asegura una colonización micorrízica temprana, maximizando el picor y dulzura de los frutos.

Para productores que buscan maximizar la rentabilidad, se recomienda la técnica de inmersión radicular. El procedimiento consiste en sumergir las raíces durante un minuto en una solución de 5 L de agua, 1 kg de micorrizas y 5 mL de melaza. Este método garantiza el contacto directo del inóculo y es la alternativa con la mejor relación beneficio-costos (1,40).

Ejecutar podas de formación entre los 35 y 40 días después de la siembra, seguidas de podas de mantenimiento a los 65 días.

En tratamientos de alto vigor, complementar la fertilización de los 45 días con Calcio y Boro. Esto compensará la pérdida de firmeza detectada, fortaleciendo las paredes celulares del fruto sin frenar el crecimiento.

Mantener el suministro de 1,04 L/planta/día, pero monitorear la humedad en la base para asegurar que la aspersión no lave el inóculo superficial, garantizando que la simbiosis se mantenga activa en la zona del cuello.

Referencias bibliográficas

Andrade, N. J. P., Monteros-Altamirano, A., Bastidas, C. G. T., & Sørensen, M. (2020).

Caracterización morfológica, sensorial y química de ají (*Capsicum spp.*) del banco de germoplasma CATIE. *Agronomy*, 10(11), 1732.

<https://doi.org/10.3390/agronomy10111732>

Avasiloaiei, D. I., Calara, M., Brezeanu, P. M., Bălăiță, C., Brumă, I. S., & Brezeanu, C. (2025).

Respuesta de *Capsicum chinense* Jacq. a enmiendas derivadas de pirólisis y fertilizantes sostenibles en sistemas de invernadero en contenedor. *Agronomy*, 15(9), 2125. <https://doi.org/10.3390/agronomy15092125>

Bonomelli, C., Alcalde, C., Aguilera, C., Videla, X., Rojas-Silva, X., Nario, A., & Fernandez, V.

(2020). Absorption and mobility of radio-labelled calcium in chili pepper plants and sweet cherry trees. *Scientia Agricola*, 78(6). <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0092>

Borges, L., Puc, J. C., Bencomo, J. A. E., & De Fatima Medina Lara, M. (2023, 21 julio).

- Cinética de la absorción de potasio por las raíces de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/7736871>
- Castillo, C. C., Ramírez-Luna, E., Wong-Cámara, C., Matos-Pech, G., Chiquini-Medina, R., Bautista-Parra, S., & Cancino, D. P. (2024). Rendimiento de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) con el uso de diferentes niveles de NPK en Campeche, México. *Revista Bio Ciencias*. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1581>
- Castro, A. G., Orona, C. A. L., Urquidez, G. A. L., & Bueno, L. A. (2023). *Fusarium spp.* causando la enfermedad de marchitez vascular en cultivo de *Capsicum spp.* en Sinaloa, México. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 27(Especial). <https://doi.org/10.53897/revaia.23.27.20>
- Chaudhary, A., Poudyal, S., & Kaundal, A. (2025). Papel de los hongos micorrízicos arbusculares en el mantenimiento de agroecosistemas sostenibles. *Applied Microbiology*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol5010006>
- Coria, A. V., Guerrero, C. A., Castro, C. A., Mendiola, M. A. R., & Tiwari, D. K. (2023). Microanálisis elemental de plantas de *Capsicum chinense* tratadas con nanopriming de ferrita de hierro dopada con magnesio. *Microscopy And Microanalysis*, 29(Supplement_1), 28-29. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozad067.012>
- Dias, G., Gomes, V., Moraes, T., Zottich, U., Rabelo, G., Carvalho, A., Moulin, M., Gonçalves, L., Rodrigues, R., & Da Cunha, M. (2013). Caracterización de especies de *Capsicum* usando datos anatómicos y moleculares. *Genetics And Molecular Research*, 12(4), 6488-6501. <https://doi.org/10.4238/2013.february.28.29>
- Farhaoui, A., Taoussi, M., Laasli, S., Legrifi, I., Mazouni, N. E., Meddich, A., Hijri, M., & Lahlali,

- R. (2025). Hongos micorrízicos arbusculares y su papel en el control de enfermedades vegetales: estado del arte. *The Microbe*, 8, 100438.
<https://doi.org/10.1016/j.microb.2025.100438>
- García González, C. A., & Silvar, C. (2020). Evaluación fitoquímica de pimientos nativos ecuatorianos (*Capsicum spp.*) y análisis de correlación con la fenómica de los frutos. *Plants*, 9(8), 986. <https://doi.org/10.3390/plants9080986>
- Gyalai, I. M., Helyes, L., Daood, H. G., Kovács, F., Szarvas, A., & Lantos, F. (2025). Impacto de factores genéticos y climáticos, antes de la cosecha, sobre el contenido de capsaicinoides y vitamina C en diferentes genotipos de pimientos picantes. *Preprints.org*. <https://doi.org/10.20944/preprints202502.0258.v1>
- Huang, Y., Wu, Z., He, Y., Ye, B., & Li, C. (2017). *Bacillus subtilis* rizosférico exhibe efecto de biocontrol contra *Rhizoctonia solani* en pimiento (*Capsicum annuum*). *BioMed Research International*, 2017, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2017/9397619>
- Lazo, R. E. M., & Garruña, R. (2020). El chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) como modelo de planta de estudio en México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1).<https://scispace.com/pdf/the-habanero-pepper-capsicum-chinense-jacq-as-a-study-plant-15e3g15qkv.pdf>
- López, L., Palacios-Torres, R. E., Ramírez-Seañez, A. R., Hernández-Hernández, H., Del Carmen Antonio-Luis, M., Yam-Tzec, J. A., & Chaires-Grijalva, M. P. (2022). Producción de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) en lombricomposta con fertilización orgánica. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3).
<https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3348>

- Ma, S., Zhu, L., Wang, J., Liu, X., Jia, Z., Li, C., Liu, J., Zeng, J., & Zhang, J. (2022). Los hongos micorrízicos arbusculares promueven el crecimiento de raíces de *Gleditsia sinensis* Lam. bajo estrés salino regulando la absorción de nutrientes y la fisiología. *Forests*, 13(5), 688. <https://doi.org/10.3390/f13050688>
- Macel, M., Visschers, I. G. S., Peters, J. L., Kappers, I. F., De Vos, R. C. H., & Van Dam, N. M. (2019). Metabolómica de la resistencia a trips en pimiento (*Capsicum spp.*) revela glicósidos diterpénicos acíclicos como posibles defensas químicas. *Journal Of Chemical Ecology*, 45(5-6), 490-501. <https://doi.org/10.1007/s10886-019-01074-4>
- Magalhães, D., De Jesus Matos Viegas, I., Da Silva Barata, H., Costa, M. G., Da Silva, B. C., & De Lima Mera, W. y. W. (2023). Las deficiencias de nitrógeno, calcio y micronutrientes son los factores más limitantes para el crecimiento y rendimiento de plantas de Chile. *Revista CERES*, 70(3), 125-135. <https://doi.org/10.1590/0034-737x202370030013>
- Moreno, B., Lidoy, J., Aguirrebengoa, M., España, L., Ramos, A., García, J. M., Pozo, M. J., López-Ráez, J. A., & Benítez, E. (2025). La inoculación temprana con hongos micorrízicos arbusculares modifica las funciones metabólicas de bacterias rizosféricas en plantas de tomate cultivadas en campo. *Plant And Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07944-z>
- Muñoz-Ramírez, L. S., Peña-Yam, L. P., Avilés-Viñas, S. A., Canto-Flick, A., Guzmán-Antonio, A. A., & Santana-Buzzy, N. (2018). Comportamiento de los chiles más picantes del mundo cultivados en Yucatán, México. *HortScience*, 53(12), 1772-1775. <https://doi.org/10.21273/hortsci13574-18>
- Oney Montalvo, J. E., López-Salas, D., Ramírez-Rivera, E., Ramírez-Sucre, M. O., &

- Rodríguez-Buenfil, I. M. (2022). Evaluación del efecto del tipo de suelo sobre los compuestos volátiles en chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*). *Horticulturae*, 8(5), 428. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050428>
- Ramirez, L. S. M., & Buzzy, N. S. (2020). Selección de variedades de chile habanero (*Capsicum chinense Jacq.*) con fines industriales (tesis doctoral). Centro de Investigación Científica de Yucatán.
https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1827/1/PCB_D_Tesis_2020_Liliana_Sarai_Mu%C3%B1oz_Ram%C3%ADrez.pdf
- Reyes, B. P. A., & Cevallos, S. (2025). Hongos asociados al cultivo de banano (*Musa spp.*) con potencial biotecnológico para el desarrollo de inoculantes. *Siembra*, 12(1), e7053.
<https://doi.org/10.29166/siembra.v12i1.7053>
- Salotti, I., Giorni, P., & Battilani, P. (2024). Biology, ecology, and epidemiology of *Alternaria* species affecting tomato: ground information for the development of a predictive model. *Frontiers In Plant Science*, 15, 1430965. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1430965>
- Shaheen, N., Khan, U. M., Azhar, M. T., Tan, D. K. Y., Atif, R. M., Israr, M., Yang, S., Chung, G., & Rana, I. A. (2021). Genética y genómica de la marchitez por *Fusarium* en chiles: una revisión. *Agronomy*, 11(11), 2162. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112162>
- Shen, H., Deng, Q., Chen, S., Deng, J., Li, M., & Fu, T. (2025). Occurrence of *Alternaria solani-nigri* Causing Leaf Spot on Cone Pepper in China. *Plant Disease*, 109(12), 2605.
<https://doi.org/10.1094/pdis-05-25-1028-pdn>
- Stürmer, S. L., & Kemmelmeier, K. (2021). Los Glomeromycota en el Neotrópico. *Frontiers In Microbiology*, 11, 553679. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.553679>

- Sun, B., Chen, C., Song, J., Zheng, P., Wang, J., Wei, J., Cai, W., Chen, S., Cai, Y., Yuan, Y., Zhang, S., Liu, S., Lei, J., Cheng, G., & Zhu, Z. (2022). El MYB31 de *Capsicum* regula la biosíntesis de capsaicinoides en el pericarpio del pimiento. *Plant Physiology And Biochemistry*, 176, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.02.014>
- Taş, K., & Balkaya, A. (2021, 1 julio). Determinación de la variación morfológica mediante análisis de componentes principales y caracterización de los recursos genéticos de *Capsicum chinense*. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ekinjournal/issue/64401/978551>
- Tanaka, Y., Nakashima, F., Kirii, E., Goto, T., Yoshida, Y., & Yasuba, K. (2016). Diferencias en la expresión de genes de biosíntesis de capsaicinoides en el pericarpio revelan aumento de capsaicinoides en chiles (*Capsicum chinense*). *Plant Cell Reports*, 36(2), 267-279. <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2078-8>
- Tripodi, P. (2024). Estructura genómica y asociación marcador-rasgo para características de planta y fruto en germoplasma de *Capsicum chinense* y *Capsicum baccatum*. *BMC Research Notes*, 17(1), 231. <https://doi.org/10.1186/s13104-024-06889-3>
- Umer, M., Anwar, N., Mubeen, M., Li, Y., Ali, A., Alshaharni, M. O., & Liu, P. (2025). Funciones de los hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento vegetal y manejo de enfermedades para una agricultura sostenible. *Frontiers In Microbiology*, 16, 1616273. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1616273>
- Van Zonneveld, M., Ramirez, M., Williams, D. E., Petz, M., Meckelmann, S., Avila, T., Bejarano, C., Ríos, L., Peña, K., Jäger, M., Libreros, D., Amaya, K., & Scheldeman, X. (2015). Evaluación de recursos genéticos de pimientos *Capsicum* en su centro primario de diversidad en Bolivia y Perú. *PLoS ONE*, 10(9), e0134663.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134663>

Verma, C., Gupta, B. K., Singh, A., Kujur, A., Sahu, R., & Prajapati, P. (2020). Agentes de control biológico en el manejo de enfermedades en viveros de pimiento: una revisión. *J. Pharmacogn. Phytoch*, 9, 462-468.

<https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue5S/PartE/S-9-5-57-845.pdf>

Visschers, I. G. S., Peters, J. L., Van de Vondervoort, J. A. H., Hoogveld, R. H. M., & Van Dam, N. M. (2019). La evaluación de resistencia a trips está llegando a su madurez: la posición y ontogenia de la hoja son determinantes importantes de la resistencia foliar en pimiento. *Frontiers In Plant Science*, 10, 510. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00510>

Wang, H., & Chen, Y. (2024). Protección de plantas frente a patógenos mediante micorrizas arbusculares: papel de la diversidad fúngica. *Microbiological Research*, 289, 127919. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127919>

Weng, W., Yan, J., Zhou, M., Yao, X., Gao, A., Ma, C., Cheng, J., & Ruan, J. (2022). Funciones de los hongos micorrízicos arbusculares como agentes de biocontrol en el control de enfermedades vegetales. *Microorganisms*, 10(7), 1266. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071266>

Wu, Y., Yang, X., Wang, X., Yan, L., Hu, X., & Lian, M. (2023). Effect of Foliar Calcium Fertilization on Fruit Quality, Cell Wall Enzyme Activity and Expression of Key Genes in Chinese Cherry. *International Journal Of Fruit Science*, 23(1), 200-216. <https://doi.org/10.1080/15538362.2023.2265656>

Yáñez, P., Rivadeneira, L., Balseca, D., & Larenas, C. (2015). Características morfológicas y de concentración de capsaicina en cinco especies nativas del género *Capsicum* cultivadas

en Ecuador. revistas.ups.edu.ec. <https://doi.org/10.17163/lgr.n22.2015.02>

Zhang, C., Shen, L., Yang, S., Chang, T., Luo, M., Zhen, S., & Ji, X. (2024). Efecto del fertilizante nitrogenado sobre capsaicinoides y sustancias metabólicas relacionadas en frutos de chile seco. *Horticulturae*, 10(8), 831. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080831>

Zhang, J., Lv, J., Xie, J., Gan, Y., Coulter, J. A., Yu, J., Li, J., Wang, J., & Zhang, X. (2020). La fuente de nitrógeno afecta la composición de metabolitos en pimiento (*Capsicum annuum* L.) y regula la síntesis de capsaicinoides a través de la vía GOGAT–GS. *Foods*, 9(2), 150. <https://doi.org/10.3390/foods9020150>

Zhao, C., Niu, T., Zhou, J., Zhu, L., Gu, S., & Wang, X. (2025). Early Detection of *Alternaria alternata* Infection in Fresh Pepper Fruit Based on Chlorophyll Fluorescence Properties and Membrane Leakage. *Food Analytical Methods*, 18(6), 1089-1100. <https://doi.org/10.1007/s12161-025-02773-3>