

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROPECUARIA**

**“Sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El
Carmen”**

AUTORA: Patricia Mishelle Mitte Vélez

TUTOR: Ing, Ricardo Paúl González Dávila. Mg

El Carmen, enero del 2024

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A)	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página II de 51

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Extensión del Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

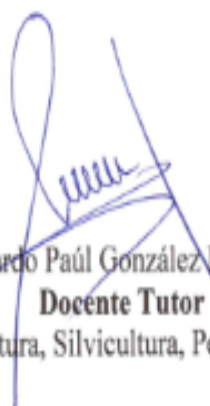
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Titulación bajo la autoría de la estudiante **Patricia Mishelle Mitte Vélez**, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2023 (2), cumpliendo el total de 440 horas, cuyo tema del proyecto es **“Sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El Carmen”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 6 de enero de 2024.

Lo certifico,



Ing. Ricardo Paúl González Dávila. M.C
Docente Tutor
 Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Patricia Mishelle Mitte Vélez con cedula de ciudadanía 1728231224, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen, de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autor de la tesis titulada **“Sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El Carmen”**, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total de su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados

Atentamente,



Patricia Mishelle Mitte Vélez

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

Sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El Carmen

AUTOR: Patricia Mishelle Mitte Vélez

TUTOR: Ing. Ricardo Paúl González Dávila, *M.C*

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROPECUARIA**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. Tacuri Troya Elizabeth, Mg



Ing. Cobeña Loor Nexar, Mg



Ing. Vivas Cedeño Jorge, Mg



DEDICATORIA

“La Agricultura se ve fácil cuando el arado es un lápiz y se está a mil millas del campo de maíz” - Dwight D. Eisenhower

Dedico mi trabajo a mi hija y a mi esposo por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio inquebrantable. Sin su aliento y ejemplo de perseverancia, esta tesis nunca habría sido posible. También, agradezco a mis amigos y seres queridos, quienes han estado a mi lado en cada etapa de mi vida, brindándome ánimo, comprensión y paciencia cuando más lo necesitaba. Su apoyo ha sido fundamental en este viaje.

A mis padres, por su guía, consejos valiosos, apoyo económico y dedicación a lo largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, quien día a día llena con Su bendición mi vida y la de toda mi familia. Expreso mi profundo agradecimiento a las personas que siempre estuvieron presentes, brindándome su ayuda para hacer posible la realización de este proyecto.

A mi familia, les agradezco de corazón por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho a lo largo de todos estos años para que pudiera alcanzar mis metas. Sin importar lo difícil que fuera el camino, siempre estuvieron allí, dándome la fuerza necesaria para seguir adelante.

Agradezco sinceramente al Ing. Paul Gonzales, por su guía, consejos valiosos y dedicación a lo largo de este proceso de investigación. A todos los docentes que me han inspirado y formado profesionalmente a lo largo de mi carrera académica.

ÍNDICE

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXO	XII
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
i. Problema científico.....	¡Error! Marcador no definido.
ii. Objetivo general	3
iii. Objetivos específicos	3
iv. Hipótesis	3
CAPÍTULO I.....	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1. Origen de las micorrizas	4
1.2. Las micorrizas en la agricultura sostenible	5
1.3. Funciones de las Micorrizas.....	7
1.3.1. Absorción de nutrimentos.....	7
1.3.2. Absorción de agua	8
1.3.3. Estabilización del suelo	8
1.4. Clasificación de los HMA.....	9
1.5. Micorrizas colaboración simbiótica entre plantas y hongos	9
1.5.1. Endomicorrizas.....	10
1.5.2. Ectomicorrizas.....	10
1.6. Dependencia de las plantas a las micorrizas arbusculares (MVA)	11
1.7. Sustratos.....	12
1.8. Medición del crecimiento de micorrizas.....	12
1.9. Plantas recomendadas para su uso como hospedantes de hongos MA.....	12
CAPITULO II.....	14

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	14
CAPÍTULO III	16
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	16
3.1. Ubicación del ensayo	16
3.2. Condiciones edafoclimáticas	16
3.3. Variables	16
3.3.1. Variables independientes	16
3.3.2. Variables Dependientes	16
3.3.3. Variables dependientes	17
3.4. Unidades experimentales	17
3.4.1. Croquis de campo	18
3.5. Tratamientos	18
3.6. Diseño Estadístico.....	18
3.7. Instrumentos de medición	19
3.7.1. Materiales y equipos.....	19
3.7.1. Manejo del ensayo	20
CAPÍTULO IV	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Altura de la planta de frejol “ <i>Phaseolus vulgaris</i> ”	22
4.2. Biomasa radicular “ <i>Phaseolus vulgaris</i> ”	24
4.2.1. Biomasa radicular (g)	24
4.2.2. Peso seco de biomasa radicular (BR) (g).....	24
4.3. Biomasa aérea (g) y peso seco de la biomasa aérea (g)	25
4.4. Número de nódulos	26
4.5. Largo de raíces.....	26
4.6. Número de pecíolos	27
CAPITULO V.....	28
5. CONCLUSIONES	28

CAPITULO VI	29
6. RECOMENDACIONES	29
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	XXXV
8. ANEXOS.....	XLI

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de las características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas.	6
Tabla 2. Variables climáticas del área experimental	16
Tabla 3. Descripción de las características de las unidades experimentales	18
Tabla 4. Descripción de los tratamientos establecidas en la investigación	18
Tabla 5. Representación de las fuentes de variación en grados de libertad.....	19
Tabla 6. Altura de las plantas (cm) de <i>Phaseolus vulgaris</i> en diferentes sustratos.....	23
tabla 7. Biomasa radicular (g) y peso seco raíz (g)de <i>Phaseolus vulgaris</i> en diferentes sustratos	24
Tabla 8. Número de pecíolo de <i>Phaseolus vulgaris</i> en diferentes sustratos.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hongo de micorriza.....	5
Figura 2. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras	6
Figura 3. Diagrama sinóptico de la clasificación de HMA	9
Figura 4. Diferencia fenotípica entre una ectomicorriza y una endomicorriza arbuscular	10
Figura 5. Croquis de campo.....	18
Figura 6. Altura de las plantas (cm) de <i>Phaseolus vulgaris</i> en diferentes sustratos de desarrollo	23
Figura 8. <i>Biomasa Radicular (g) y Biomasa radicular seca (g) de Phaseolus vulgaris en diferentes sustratos</i>	25

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. <i>ADEVA de la variable altura de la planta en la semana 3</i>	XLI
Anexo 2. <i>Aplicación de micorrizas para elaborar tierra natural</i>	XLI
Anexo 3. <i>Rotulación de cada uno de los tratamientos</i>	XLI
Anexo 4. <i>Conteo de numero de raíz y nódulos</i>	XLII
Anexo 5. <i>Toma de datos de la longitud de la raíz</i>	XLII
Anexo 6. <i>Certificado de detección de similitud</i>	XLIV

RESUMEN

El estudio evaluó sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El Carmen mediante un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con 7 tratamientos y 3 repeticiones. Los resultados más destacados indican que el tratamiento Suelo natural + micorrizas fue el más eficiente, alcanzando la mayor altura de planta al final del experimento (31,00 cm), la mayor biomasa aérea (63,4 g) y el peso seco de biomasa aérea más alto (4,96 g). Asimismo, este tratamiento presentó la mayor biomasa radicular (10,40 g) y peso seco radicular (3,00 g), superando significativamente a los demás tratamientos. Por otro lado, el tratamiento Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1 mostró los valores más bajos en todas las variables evaluadas, destacándose como el menos efectivo para el desarrollo vegetal. En cuanto a desempeño intermedio, los tratamientos Suelo natural + Ca 0,5:1 y Suelo natural lograron biomasa aérea de 17,9 g y 14,2 g, respectivamente. Sin embargo, los tratamientos T1, T2, T5 y T3 presentaron una biomasa radicular inferior a 5,20 g, siendo T3 el menos eficiente (3,20 g de biomasa radicular y 0,25 g de peso seco). Los sustratos enriquecidos con micorrizas demostraron ser significativamente superiores en términos de desarrollo radicular, aéreo y productividad general, resaltando la importancia de su aplicación para mejorar la eficiencia agrícola.

Palabras claves: Rizobacterias, *Phaseolus vulgaris*, altura, aserrín

ABSTRACT

The study evaluated alternative substrates for the production of mycorrhizae in the El Carmen area using a randomized complete block design (RCBD) with 7 treatments and 3 replications. The most outstanding results indicate that the treatment Natural soil + mycorrhizae was the most efficient, reaching the greatest plant height at the end of the experiment (31.00 cm), the highest aerial biomass (63.4 g), and the highest dry aerial biomass weight (4.96 g). Additionally, this treatment presented the highest root biomass (10.40 g) and dry root weight (3.00 g), significantly surpassing the other treatments. On the other hand, the treatment Natural soil + Rice Husk (Ca) 1:1 showed the lowest values in all the variables evaluated, standing out as the least effective for plant development. Regarding intermediate performance, the treatments Natural soil + Ca 0.5:1 and Natural soil achieved aerial biomass of 17.9 g and 14.2 g, respectively. However, treatments T1, T2, T5, and T3 presented root biomass values below 5.20 g, with T3 being the least efficient (3.20 g of root biomass and 0.25 g of dry weight). Substrates enriched with mycorrhizae proved to be significantly superior in terms of root, aerial development, and overall productivity, highlighting their importance for improving agricultural efficiency.

Keywords: Rhizobacteria, *Phaseolus vulgaris*, height, sawdust.

INTRODUCCIÓN

El uso de agroquímicos se emplea por su capacidad para aumentar la rentabilidad y productividad de los sistemas de producción agrícola, sin embargo, es esencial considerar su impacto en el ambiente, especialmente en lo que respecta a la calidad y biota del suelo (Carpio y Carpio, 2014). El suelo está experimentando un deterioro significativo debido al uso excesivo e indiscriminado de agroquímicos por parte de los agricultores, lo que resulta en una disminución de la fertilidad del suelo (Raddatz., 2001).

García et al. (2022), mencionan que la aplicación de estos productos químicos en el ecosistema terrestre tiene repercusiones en los microorganismos y sus actividades, lo que puede dar lugar a modificaciones en los procesos biológicos fundamentales para la fertilidad del suelo. Según Raddatz (2001). La producción de alimentos demanda un manejo eco-amigable para disminuir la contaminación ambiental. Una posible solución para lograr este objetivo es la utilización de biofertilizantes elaborados a partir de micorrizas, que son hongos beneficiosos que han desarrollado una relación simbiótica a lo largo del tiempo con las plantas (Carpio y Carpio, 2014).

La función primordial de las micorrizas consiste en ampliar el área de suelo explorada mediante la formación de una red adicional de hifas, lo que resulta en una mayor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta. Además, estas micorrizas también ejercen un efecto beneficioso en términos de la salud de las plantas (Plenchette et al., 2005).

El papel de las micorrizas en la simbiosis planta-hongo es un tema de vital importancia en la ecología y la biología vegetal (Vivas-Cedeño et al., 2018). Las micorrizas son asociaciones mutualistas entre hongos del suelo y las raíces de las plantas que tienen un impacto significativo en el crecimiento y la salud de las plantas, así como en la dinámica de los ecosistemas (Osorio et al., 2008). Este problema de investigación se centra en comprender la importancia de las micorrizas, específicamente las micorrizas arbusculares, en la relación simbiótica entre hongos y plantas, y su influencia en el ciclo de nutrientes y el desarrollo de las plantas (Vivas-Cedeño et al., 2018).

La producción de micorrizas es esencial para mejorar la salud y el rendimiento de las plantas en la agricultura y la restauración de los agroecosistemas. En la zona de El Carmen, la utilización de micorrizas se ha convertido en una práctica agrícola que se está estableciendo con el fin de maximizar la productividad de los cultivos y la restauración de áreas degradadas. Sin embargo, la producción de micorrizas a gran escala depende en gran medida de sustratos

específicos, lo que podría aumentar los costos y la complejidad del proceso (Carrillo-Saucedo et al., 2022).

La fertilización desempeña un papel fundamental en la agricultura, contribuyendo al aumento de la producción de cultivos y garantizando la seguridad alimentaria (Vivas-Cedeño et al., 2018). A pesar de su importancia, se enfrenta a desafíos económicos significativos debido a los costos elevados asociados con los fertilizantes, lo que impacta negativamente tanto en la producción agrícola como en el entorno ambiental (Calabi-Floody et al., 2018). Actualmente, la calidad de los suelos utilizados con fines agrícolas no es la mejor debido a que las prácticas intensivas utilizan insumos químicos en exceso, dando como resultado la erosión de los suelos agrícolas, la alteración de los ciclos de nutrientes y la reducción de la diversidad biológica (biota del suelo) (Beltran, 2022).

Uno de los fertilizantes más usados en el campo agrícola es el nitrógeno. Para García-Galindo et al. (2020), la forma de aplicación del nitrógeno y la dosificación en ocasiones no es la correcta ya que se emplea en cantidades muy altas con poca eficiencia, generando problemas de salinidad en los suelos y de contaminación tanto en suelos como en cuerpos de agua cuando los excedentes son lavados debido a que dichos fertilizantes pueden contener amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) o Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$).

Las micorrizas juegan un papel importante en la relación agua- suelo- planta ya que aumentan la capacidad de las plantas para absorber nutrientes esenciales del suelo, como fósforo, nitrógeno, hierro y zinc (Múnera, 2014). La presencia de micorrizas puede aumentar la resistencia de las plantas a enfermedades del suelo al competir por espacio y recursos con patógenos potenciales (Moreno-Velandia et al., 2018). Además, algunas micorrizas tienen la capacidad de producir metabolitos que inhiben el crecimiento de patógenos (Reyes et al., 2016).

La utilización de sustratos alternativos para la producción de micorrizas en el cantón El Carmen se establece como una medida resiliente en los agroecosistemas. Estas micorrizas desempeñan un papel crucial en la mejora de la eficiencia del sistema radicular de las plantas, ya que tienen la capacidad de acceder a nutrientes y agua a distancias mayores, incluso en áreas a las que las raíces no pueden llegar (Cuenca-Morocho, 2021).

La eficiencia en la producción de biofertilizantes micorrízicos ha sido un logro destacado, gracias a la utilización de materiales de primera calidad. Esto ha permitido obtener inóculos que cumplen con requisitos esenciales, como la facilidad de manejo, una alta viabilidad del hongo y costos reducidos. Sin embargo, en el contexto de la granja experimental

"Río Suma," se plantea un desafío científico y práctico. Se busca identificar sustratos alternativos al suelo agrícola que presenten propiedades idóneas para el desarrollo del hongo micorrízico arbuscular (HMA), al mismo tiempo que ofrezcan oportunidades de reducción de costos.

La información nueva que se establece es este perfil de investigación es relacionar cómo los sustratos alternativos influyen en el crecimiento y la producción de cultivos específicos que se cultivan en cantón El Carmen, es decir la respuesta de cultivos locales a la presencia de micorrizas. Además, establecer que sustratos alternativos influyen en el crecimiento y la producción de cultivos.

i. Objetivo general

Evaluar sustratos alternativos para la producción de micorrizas en la zona de El Carmen

ii. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de micorrizas y su influencia en el desarrollo del sistema radicular
- Establecer el sustrato más adecuado para la multiplicación de micorrizas, considerando indicadores de biomasa y crecimiento vegetal

iii. Hipótesis

Hipótesis alternativa (Ha): Los sustratos de estudio influyen significativamente en el crecimiento de micorrizas.

Hipótesis nula (Ho): Los sustratos de estudio no influyen significativamente en el crecimiento de micorrizas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Origen de las micorrizas

Redecker et al. (2000), menciona que aproximadamente 460 millones se originaron las esporas e hifas fósiles descubiertas en el Ordovícico de Wisconsin. Estas muestran una notable similitud con las de los actuales *Glomales*, pertenecientes al filo *Glomeromycota* y representan las primeras pruebas de la existencia de hongos formadores de micorrizas arbusculares (Schüßler et al., 2001).

Estos descubrimientos confirman, por un lado, la coexistencia de los primitivos *Glomales* con las primeras plantas en el inicio de la colonización de ambientes terrestres (Pérez-Moreno y Read, 2004). Por lo tanto, parece evidente que antes de la aparición de los *Glomales*, la simbiosis micorrícica entre hongos y plantas no se desarrolló, pero posteriormente varios clados fúngicos la establecieron, con consecuencias significativas para los ecosistemas terrestres (Redecker et al., 2000).

La palabra micorriza proviene de los vocablos griegos mike (hongo) y rrhiza (raíz) (Schüßler et al., 2001). Una micorriza es una simbiosis no patogénica; una asociación permanente entre raíces de plantas y hongos especializados, los cuales pueden desarrollarse en un ambiente natural y medios de cultivo (Redecker et al., 2000). Se conoce como micorrizas a las relaciones beneficiosas que existen entre los hongos presentes en el suelo y las raíces de las plantas superiores (Moreno-Velandia et al., 2018).

Esta asociación se considera simbiótica, ya que ambas partes obtienen ventajas de esta interacción (Schüßler et al., 2001). Los hongos se benefician al recibir recursos carbonados de la planta, mientras que la planta se beneficia al contar con una mayor área de raíces con la ayuda de los hongos, mejorando su capacidad para absorber nutrientes minerales del suelo, como se ilustra en la Figura 1 (Holguín, 2015).

Gómez et al. (2007), menciona que la mayoría de nosotros está familiarizada con los hongos de sombrero que suelen desarrollarse en los bosques. Sin embargo, lo que percibimos en realidad es solo un cuerpo fructífero compuesto por miles de hifas, estructuras microscópicas estrechamente unidas (Holguín, 2015). El verdadero cuerpo del hongo se encuentra subterráneo y es difícil de apreciar a simple vista (Peng et al., 1993).

Las hifas subterráneas de estos hongos, conocidos como macromicetos, forman parte de

la microflora del suelo, contribuyendo a la complejidad de este sistema. Aunque existen varias familias de hongos en este sistema, la mayoría no produce cuerpos fructíferos tan evidentes como los que estamos acostumbrados a ver (Salazar-García, 2002).

Las funciones de estos hongos en el suelo son diversas, incluyendo la degradación de la materia vegetal y el beneficio a las plantas mediante asociaciones simbióticas con sus raíces (Gómez et al., 2007).



Figura 1. *Hongo de micorriza*

Nota. Tomado de Álvaro (2019).

1.2. Las micorrizas en la agricultura sostenible

La micorriza desempeña un papel fundamental en la agricultura sostenible (Suarez, 2001), como se observa en la Figura 2. En el prólogo del libro "Mycorrhizae in Sustainable Agriculture," se llega a la conclusión de que, si el objetivo es reducir el uso de productos químicos por motivos medioambientales y de salud, es necesario promover niveles elevados de disponibilidad de hongos micorrízicos y otros microorganismos beneficiosos para compensar la disminución de insumos químicos (Osorio et al., 2008).

Esta estrategia está en consonancia con la idea de que la disminución o desaparición de la microflora MA (Micorrizas Arbusculares) es un indicador de la disminución en la estabilidad del sistema planta-suelo, de manera similar a cómo el nivel de estrés causado por las prácticas agrícolas es un indicador de la sostenibilidad de la agricultura (Díaz et al., 2014).

En la actualidad, las micorrizas cumplen funciones muy importantes en los ecosistemas agrícolas (Reyes et al., 2016). Estas incluyen regular la absorción de nutrientes del suelo por las plantas, volver disponibles múltiples elementos minerales y/o ayudar a estabilizar las partículas del suelo disminuyendo el grado de erosión (Suarez, 2001).

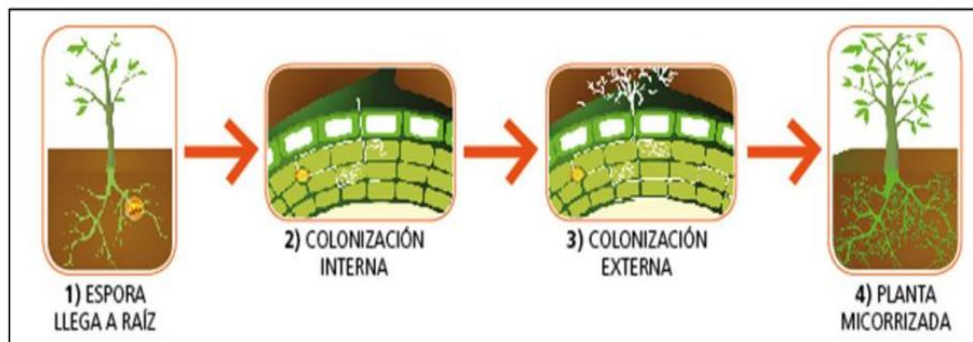


Figura 2. La presencia y desarrollo de la simbiosis micorrízica en el sistema radicular de las plantas hospedadoras

Nota. Tomado de Díaz et al., (2014).

En la actualidad, se reconocen dos categorías principales de micorrizas, que son las ectomicorrizas y las endomicorrizas, que se distinguen claramente por varias características (Tabla 1). Las ectomicorrizas se caracterizan por el desarrollo del hongo en la corteza de las raíces de las plantas, sin adentrarse en los espacios internos de las mismas (Díaz et al., 2014).

Por otro lado, las endomicorrizas tienen un crecimiento tanto interno como intracelular, ya que las estructuras finas del hongo, conocidas como hifas, pueden penetrar las células corticales de las raíces (Suarez, 2001).

Tabla 1. Resumen de las características y diferencias entre endomicorrizas y ectomicorrizas.

ENDOMICORRIZAS	ECTOMICORRIZAS
Clase taxonómica: <i>Zigomicetes</i>	Clase taxonómica: <i>Basidiomicetes, Ascomicetes y Ficomicetes</i>
No forma manto hifal, micelio aceptado.	Formación de manto, micelio septado.
Crecimiento inter e intracelular en corteza radical.	Crecimiento del micelio intercelular
Hospederos: árboles, arbustos, hierbas.	Hospederos: árboles maderables y
Hospederos: árboles maderables. Reproducción asexual (clamidosporas y micelio).	Reproducción sexual y asexual
Diversidad: 6 géneros con 150 especies descritas, diversidad fisiológica, intraespecífica.	Diversidad: 148 géneros con 5,400 especies descritas.
No hay especificidad a hospederos	Selectivos a requerimientos ambientales
Menor selectividad a requerimientos ambientales	Mayor distribución en bosques de zonas templadas y en suelos con alto contenido de materia orgánica.
Ocurren en toda clase de suelos, predominantemente en los tropicales con bajos contenidos de materia orgánica.	Absorben P y Zn.

Nota. Adaptado de Blancof y Salas (1997).

Los hongos micorrízicos pueden representar una fracción significativa de la biomasa del suelo, del 20% (Blanco y Salas, 1997). No obstante, su papel fundamental reside en que su extenso micelio tanto dentro como fuera de las raíces sirve como un vínculo o conexión entre las plantas y el suelo, influyendo en los elementos bióticos y abióticos que componen el ecosistema (Blanco y Salas, 1997).

1.3. Funciones de las Micorrizas

Las micorrizas arbusculares (MVA) desempeñan diversas funciones que involucran múltiples interacciones con las plantas, el suelo, la microflora, la microfauna y el entorno circundante (Blanco y Salas, 1997).

1.3.1. Absorción de nutrientes

La absorción de nutrientes a través de la micorriza y sus beneficios para las plantas varían según el tipo de planta y la micorriza que coloniza sus raíces. La relación entre el hongo y la planta en la obtención de nutrientes está estrechamente vinculada a la extensión del sistema radical de la planta y la distribución de las raíces en el suelo, determinando así el volumen de suelo explorado y, por ende, la absorción de nutrientes (O'Keefe y Sylvia, 1991).

En particular, la absorción de fósforo es crucial, ya que las plantas absorben este elemento en forma soluble. Sin embargo, cuando se añade al suelo como fertilizante o mediante materia orgánica, más del 90% de este elemento, que es poco móvil, se convierte rápidamente en formas solubles no disponibles (Viera et al., 2017). Esto implica que gran parte de los fertilizantes fosfatados aplicados no se utilizan de inmediato, sino que se almacenan en el suelo (Sieverding, 1991).

La capacidad de las micorrizas para aumentar los niveles de suministro de fósforo radica en su habilidad para producir micelios en abundancia, lo que amplía el volumen de suelo explorado y la superficie de absorción de la planta (O'Keefe y Sylvia, 1991). Además, estas micorrizas pueden acumular fósforo intracelularmente de manera activa, incluso en soluciones de muy baja concentración, lo que facilita una extracción más eficiente de fósforo (Viera et al., 2017).

Además de su contribución a la absorción de nutrientes, las micorrizas ofrecen protección a las plantas contra iones de metales pesados, reduciendo la toxicidad del manganeso en plantas como frijol y puerro (Sieverding, 1991). También disminuyen la incidencia de enfermedades en frijoles, especialmente en suelos estériles con tendencia a aumentar los niveles de manganeso (Viera et al., 2017). Las micorrizas pueden acumular y excluir iones como el

magnesio y el aluminio, y, en su presencia, favorecer el crecimiento de pastos en suelos contaminados con zinc, protegiendo a la planta de los efectos tóxicos de este metal (Viera et al., 2017).

1.3.2. Absorción de agua

La absorción de agua se ve afectada por las Asociaciones Micorrícicas VAM (MVA), ya que provocan aumentos en el flujo hídrico de las plantas y en la conductividad eléctrica de las raíces (Jeffries y Dodd, 1991). La red de micelios del hongo desempeña un papel crucial en la absorción de agua al entrar en contacto con la parte media de las raíces a través de sus hifas más finas (Noda, 2009).

Este fenómeno puede manifestarse con síntomas más notables de estrés hídrico en cultivos que dependen en mayor medida de estas asociaciones, como en el caso de rosas u otros cultivos ornamentales, en comparación con cultivos de baja dependencia de las MVA, como el maíz y el sorgo (Jeffries y Dodd, 1991).

Además, el desarrollo de la red de hifas optimiza el uso del agua, brindando beneficios para la supervivencia de las plantas que podrían enfrentar deficiencias o excesos nutricionales, estrés durante el trasplante, suelos con bajos niveles de fósforo disponible y condiciones de sequía (Jeffries y Dodd, 1991).

1.3.3. Estabilización del suelo

Las Asociaciones Micorrícicas VAM (MVA) desempeñan un papel crucial en la estabilización del suelo, ya que los hongos generan extensas redes de hifas que contribuyen a mantener unidas las partículas del suelo (Abud et al., 2008). En suelos erosionados, que suelen tener bajos niveles de fertilidad, la inoculación con hongos MVA se presenta como una alternativa valiosa para favorecer la rehabilitación de estas áreas (Reyes et al., 2016).

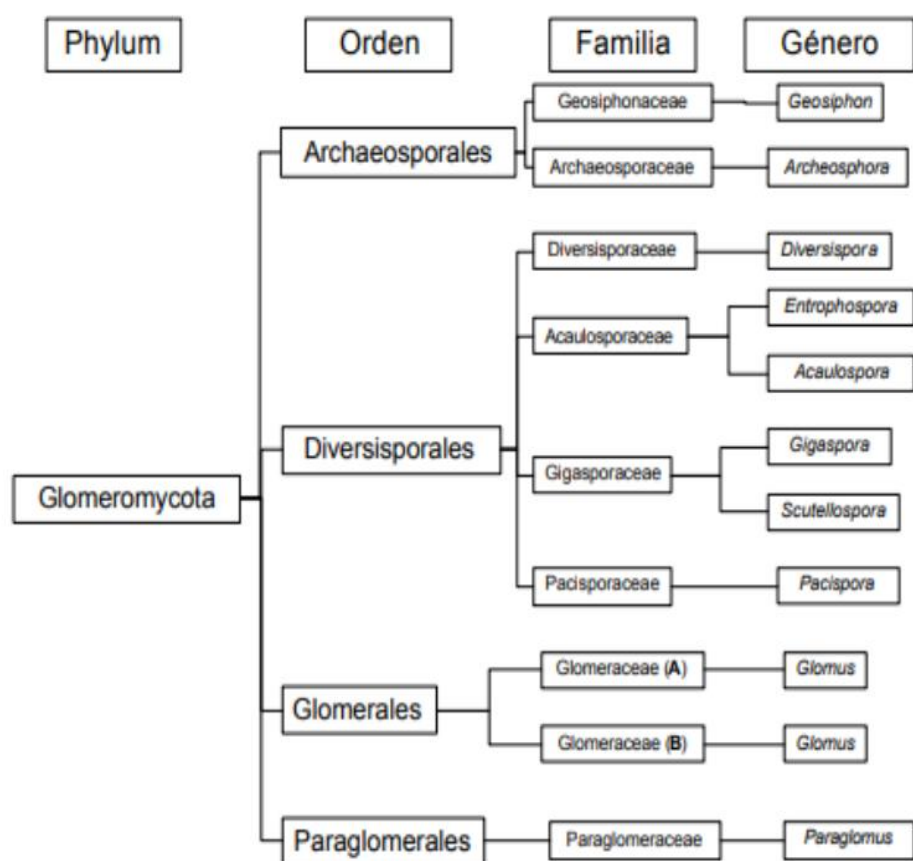
La red de hifas de las MVA influye positivamente en diversas características del suelo, mejorando su estructura y la estabilidad de sus agregados. Este beneficio es especialmente relevante, ya que puede contribuir a prevenir la pérdida significativa de suelos tropicales debido a la erosión (Pastor-Calderón y Terrones-Araujo, 2020). En suelos arenosos, las plantas asociadas con micorrizas tienen la capacidad de agregar una mayor cantidad de partículas en las raíces por unidad de masa, en comparación con las plantas que carecen de micorrizas (Reyes-Quintana et al., 2000).

1.4. Clasificación de los HMA

Los hongos micorrícicos arbusculares pertenecen al filo Glomeromycota, dentro del cual podemos distinguir cuatro órdenes distintos:

- Glomerales
- Diversisporales
- Paraglomerales
- Archaeosporales

Figura 3. Diagrama sinóptico de la clasificación de HMA



Nota. Tomado de Montaña et al., (2001)

1.5. Micorrizas colaboración simbiótica entre plantas y hongos

La mayoría de las plantas superiores establecen una asociación simbiótica en sus raíces con hongos, específicamente Ficomycetos y Basidiomicetos (Goltapeh et al., 2008). Esta simbiosis se caracteriza por el intercambio bidireccional de nutrientes, donde el hongo aprovecha el carbono y las plantas obtienen nutrientes inorgánicos (Chávez y Guillén-Navarro, 2015). Dentro de estas asociaciones simbióticas, un grupo prominente son las micorrizas

vesículo-arbusculares (MVA), también conocidas como endomicorrizas (Raina et al., 2012).

1.5.1. Endomicorrizas

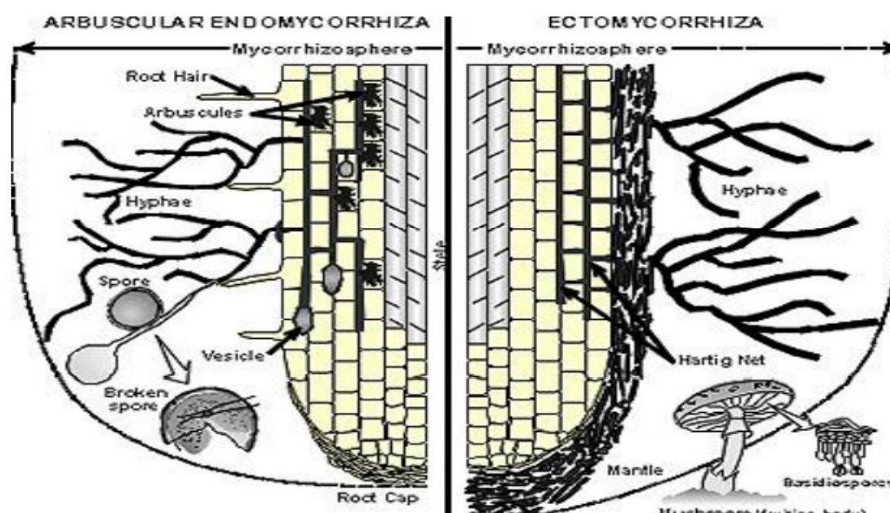
Las endomicorrizas, presentes en alrededor del 70% de las especies vegetales en regiones tropicales, son parásitos obligados, y muchas especies, como el café, responden de manera significativa a esta infección (Moreira et al., 2012). Las MVA, que pertenecen al orden *Glomales*, se distinguen por la formación de estructuras ramificadas denominadas arbuscúlos dentro de las células de la raíz, donde se produce el intercambio simbiótico más relevante con la planta (Pastor-Calderón y Terrones-Araujo, 2020).

1.5.2. Ectomicorrizas

Las ectoendomicorrizas, en su mayoría, comparten las características típicas de las ectomicorrizas, con la distinción fundamental de presentar penetración intracelular (Moreira et al., 2012). La clasificación de estas micorrizas ha generado cierto debate entre los científicos (Kwon et al., 2012). Algunos investigadores las consideran endomicorrizas debido a la intrusión dentro de las células, mientras que otros, basándose en la proximidad filogenética de los hongos asociados con Asco y *Basidiomycotina*, las sitúan como ectomicorrizas (Marques et al., 2001).

Este tipo de simbiosis se observa en algunos subgrupos específicos de *Pinaceae* y *Ericales*, como los géneros *Arbutus* (Moreira et al., 2012). La combinación única de características ectomicorrícicas e endomicorrícicas en estas asociaciones destaca la diversidad y complejidad de las relaciones simbióticas entre plantas y hongos en el fascinante mundo de las micorrizas (Molina et al., 2005).

Figura 4. Diferencia fenotípica entre una ectomicorriza y una endomicorriza arbuscular



1.6. Dependencia de las plantas a las micorrizas arbusculares (MVA)

La dependencia de las plantas a las micorrizas arbusculares (MVA) es un fenómeno complejo que puede variar entre especies de plantas y está influenciado por diversos factores. A continuación, se destacan algunos puntos clave relacionados con la dependencia de las plantas a las MVA (Gerdeemann, 1968):

a. Importancia de las MVA

Las micorrizas arbusculares son simbiontes mutualistas formados por hongos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Estas micorrizas desempeñan un papel crucial en la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, por parte de las plantas, a cambio de carbono (Gliessman, 2002).

b. Grados de dependencia

Como se menciona en el texto, hay una variación en la dependencia de las plantas a las MVA. Algunas plantas son no dependientes y no forman micorrizas, mientras que otras son altamente dependientes y no pueden crecer adecuadamente sin esta simbiosis. También existen plantas con una dependencia intermedia (Hayman, 1983).

c. Factores que afectan la dependencia

Diversos factores pueden influir en la dependencia de una planta a las MVA. Estos incluyen la genética de la planta, las características morfológicas de su sistema radicular, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y las condiciones ambientales (Ocampo y Barea, 1985).

d. Características morfológicas de la raíz

La geometría y morfología del sistema radicular son factores importantes que pueden influir en la dependencia de una planta a las MVA. La clasificación según el tipo de sistema radicular (*magnoloide* o *graminoide*) y parámetros como biomasa radical, longitud e incidencia de pelos radicales, diámetro de la raíz y densidad de la misma pueden proporcionar información sobre la relación planta-micorriza (Bayliss, 1975).

e. Excepciones y variaciones

Aunque ciertas características morfológicas de la raíz pueden estar asociadas con la dependencia micorrízica, existen excepciones. Algunas plantas pueden mostrar patrones inesperados, y factores adicionales pueden ser relevantes en la determinación de la dependencia

de las MVA (Hayman, 1983).

1.7. Sustratos

El método más común para producir inóculo es en macetas con suelo estéril. La producción de estos hongos también se puede lograr utilizando otros sustratos como la perlita, turba, corcho, arcilla expandida, vermiculita, sistema hidropónico, la técnica de película de nutrimentos o cultivos axénico de órganos de raíz. En los medios de producción de inóculo, los nutrimentos deben mantener un balance de N y P durante el desarrollo del hospedante (Manjarrez et al., 2000).

El contenido de P debe mantenerse bajo debido a que, generalmente, las altas concentraciones inhiben el desarrollo de la MVA. Los niveles óptimos de P y N deberían mantenerse en un máximo de $70 \mu\text{g}^{-1}$ y $50 \mu\text{g}^{-1}$, respectivamente, para evitar afectar la colonización del hongo (Garzón, 2016).

1.8. Medición del crecimiento de micorrizas

El tiempo necesario para el crecimiento de las micorrizas puede variar según diversos factores, como el tipo de micorriza, las condiciones ambientales, el tipo de suelo y la especie de planta hospedadora (Melo-Hernández, 2011). En general, las micorrizas pueden establecerse en las raíces de las plantas en unas pocas semanas después de la colonización inicial, pero su crecimiento y desarrollo continuo pueden llevar varios meses o incluso años (Manjarrez et al., 2000).

Por ejemplo, las micorrizas arbusculares (MA) a menudo muestran una colonización inicial temprana en las raíces de las plantas hospedadoras, pero su desarrollo completo puede llevar varias semanas o meses, dependiendo de las condiciones del suelo y la planta (Melo-Hernández, 2011). En contraste, las ectomicorrizas, que son comunes en árboles y arbustos, pueden requerir un período más largo para establecerse completamente debido a su desarrollo en la corteza de las raíces (Cuenca et al., 2007).

Es importante destacar que la relación entre las micorrizas y las plantas es una simbiosis a largo plazo, y la asociación puede fortalecerse y volverse más beneficiosa con el tiempo a medida que las plantas y los hongos continúan interactuando y desarrollándose en conjunto (Suarez, 2001).

1.9. Plantas recomendadas para su uso como hospedantes de hongos MA

Las plantas recomendadas para su uso como hospedantes de hongos MA para la

producción de inóculo son *Nardus stricta*(Cervuno),*Coprosoma robusta*(Brillantísima),*Citrus*, *Sorghum* spp., *Stylosanthes* (Alfalfa tropical), *Coleus*spp., *Allium cepa* (Cebolla), *Alliumporrum* (Cebollin), *Capsicumannuum* (Chiltoma), *Fragaria* spp (Fresa)., cebada, *Zea mays*, *Medicago sativa* (Alfalfa), *Trifolium* spp (Trébol)., *Paspalumnotatum* (Pasto bahia), *Panicum máximo* (Pasto Tanzania), *Coprosma robusta*, *Cenchrusciliaris*(Pasto salina), *Arachis hypogaea* (Maní), *Gossypiumhirsutum*(Algodón mexicano)y *Asparagusoofficinalis* (Brundrett et al., 1999).

CAPITULO II

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Diversos estudios han explorado los efectos de la inoculación con diferentes especies de *Glomus* en portainjertos de Kober 55B, revelando impactos significativos en la composición de nutrientes en las plantas. En un experimento que utilizó tres especies de *Glomus* (*G. constrictum*, *G. deserticola* y *G. mosseae*) capaces de formar micorrizas arbusculares, se observó un aumento en el contenido de cobre en las hojas y una disminución en las concentraciones de boro, manganeso y zinc. Es relevante destacar que el efecto en manganeso y zinc varió según la especie de hongo inoculado (Biricolti et al., 1997).

Otros estudios han demostrado que la inoculación puede influir en la concentración de minerales esenciales en variedades específicas de vides. En vides micorrícicas de la variedad Victoria, injertadas sobre patrones 3309C o 110R, se observó un aumento en las concentraciones de calcio y potasio (Nikolaou et al., 2002).

Además, investigaciones conducidas por Petgen et al. (2015), señalan que la inoculación de diferentes patrones de vid con el hongo *Gigaspora* reflejaron un aumento en los niveles de potasio en todos los patrones. Sin embargo, la concentración de calcio y magnesio disminuyó en patrones tetraploides. El estudio también reveló que el inóculo de hongo regulaba la absorción de nutrientes y el crecimiento de la vid. La ubicación del inóculo en el suelo también influyó en estos resultados, mostrando que las concentraciones de zinc y fósforo en las hojas y el peso seco de los brotes aumentaron significativamente en función de la profundidad de colocación del inóculo. Estos resultados subrayan la importancia del nivel y la ubicación de la inoculación como factores clave en la modulación de la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas inducidos por las micorrizas arbusculares (Petgen et al., 2015).

Para Hernández-Rodríguez et al. (2010), los principales desafíos significativos que la agricultura enfrenta en la actualidad es la erosión y la degradación de la fertilidad de los suelos. Sin embargo, se han utilizado materiales orgánicos como recurso para elevar el contenido de materia orgánica en los suelos agrícolas y proporcionar una fuente de nitrógeno para las plantas cultivadas, lo que corrobora Rodríguez y Ortuño (2007), mencionan que la inclusión de fertilizantes orgánicos mejora las características físicas, químicas y biológicas de los suelos utilizados en la agricultura.

Sin embargo, durante muchos años los agricultores para incrementar la productividad

de los cultivos y asegurar la subsistencia familiar, recurren a diversos insumos externos, como fertilizantes químicos y pesticidas, no obstante, si se aplican de manera inadecuada, dichos productos pueden dar lugar a la contaminación de los suelos (Martín y Rivera, 2015).

Por este motivo, se están investigando nuevas soluciones para mejorar la fertilidad del suelo y garantizar niveles de producción satisfactorios en los cultivos de interés agrícola mediante enfoques ecológicos y resilientes dándole la oportunidad a los agroecosistemas que se recuperen a situaciones adversas causadas por el uso excesivo de fertilizantes químicos y pesticidas (Espindola et al., 1998). Entre las alternativas propuestas se encuentra el empleo de biofertilizantes basados en interacciones beneficiosas de organismos vivos y procesos naturales. En este contexto, los microorganismos simbiotes del suelo, como las micorrizas, desempeñan un papel crucial que contribuye al desarrollo de las plantas (Martín y Rivera, 2015).

Una de las principales funciones y ventajas que las micorrizas proporcionan a las plantas, es la habilidad para absorber agua y nutrientes, lo que les permite afrontar con mayor resistencia las condiciones desfavorables del suelo y el clima (Montaño et al., 2001). Las micorrizas promueven el aumento de la cantidad de biomasa y la producción de los cultivos, al mismo tiempo que participan en la creación de estructuras de suelo sólidas y estables (Espindola et al., 1998).

Los sustratos utilizados para la producción de micorrizas pueden variar según la metodología y los objetivos específicos de la producción. Algunos sustratos comunes que se utilizan en la producción de micorrizas según Manjarrez et al., (2000) son: Suelo estéril, vermiculita (se utiliza comúnmente en la producción de micorrizas debido a su capacidad de retención de agua y nutrientes), perlita (sustrato ligero y poroso proporciona una buena aireación y drenaje), turba (material orgánico descompuesto ayuda a retener la humedad y proporciona nutrientes a las micorrizas), Agar (es un medio de cultivo gelatinoso que se utiliza en cultivos de laboratorio para la producción y propagación de micorrizas) y sustratos orgánicos diversos (restos de plantas, compost, cáscaras de coco y otros materiales orgánicos descompuestos).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del ensayo

La investigación en su fase de campo se realizó en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, ubicada geográficamente a X 674882; Y 9971241, Km 3 de la vía El Carmen - Santo Domingo, cantón el Carmen, provincia de Manabí, Ecuador.

3.2. Condiciones edafoclimáticas

Las principales variables climáticas en el área de estudio (Tabla 2), se tomaron del registro del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la provincia de Manabí cantón el Carmen.

Tabla 2. *Variables climáticas del área experimental*

Variable	Características
Altitud	260 m s.n.m.
Temperatura	24, 1 °C.
Precipitación	2770,6 mm
Humedad Relativa	86,0 %
Topografía	Ligeramente irregular
Heliofanía	753,2 h l/a

Nota. Adaptado de INAMHI (2017).

3.3. Variables

3.3.1. Variables independientes

- Suelo natural
- Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1
- Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1
- Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5
- Suelo natural + (Ca) 0,5: 1
- Suelo natural + (Ab) 0,5: 1

3.3.2. Variables Dependientes

- Peso de raíz fresca

- Peso de biomasa seca de raíz
- Peso de biomasa área
- Peso seco de la biomasa aéreas
- Altura de la planta
- Longitud de la raíz principal
- Número de nódulos

3.1.1.1. Métodos

a. Método analítico-sintético

Este método ayudó a la síntesis y análisis de la información obtenida a través de las consultas e investigaciones de otros trabajos experimentales referentes al tema y que aportará a las bases científicas que estarán en esta investigación (Arias, 2012).

b. Método inductivo-deductivo

Bajo estos métodos, se pudo avanzar en la investigación con base en lo establecido y consultado en estudios previos, permitiendo que, al culminar todos los procesos, se llegara a obtener conclusiones reales y específicas del presente estudio (Hernández et al., 2014).

3.3.3. Variables dependientes

- Desarrollo de la MVA
- Número de nódulos
- Número de raíz
- Biomasa radicular
- Biomasa radicular (peso seco)
- Biomasa aérea
- Biomasa aérea (peso seco)

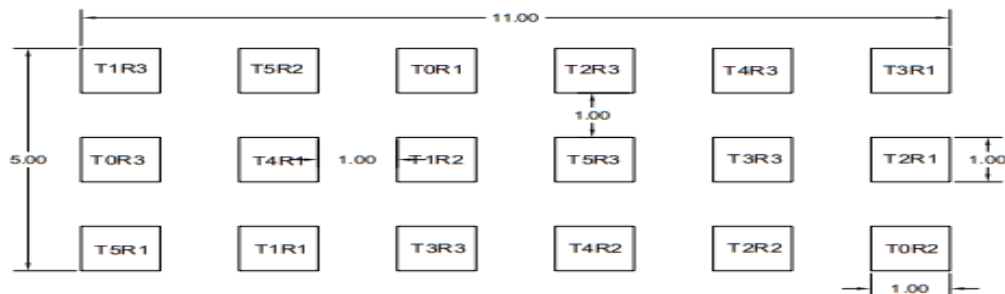
3.4. Unidades experimentales

Se realizaron dos muestreos para evaluar el desarrollo de la MVA en los sustratos en estudio, a los 48 y a los 61 días después de la siembra (DDS).

Tabla 3. Descripción de las características de las unidades experimentales

Características	Cantidad
Número de unidades experimentales	18
Área de unidades experimentales	1 m ²
Área total del ensayo	55m ²

3.4.1. Croquis de campo

**Figura 5.** Croquis de campo

3.5. Tratamientos

Tabla 4. Descripción de los tratamientos establecidos en la investigación

Tratamientos	Descripción
T0	Tratamiento testigo: Suelo natural+ micorrizas
T1	Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1
T2	Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1
T3	Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5
T4	Suelo natural + (Ca) 0,5: 1
T5	Suelo natural + (Ab) 0,5: 1
T6	Tratamiento control: Suelo natural

3.6. Diseño Estadístico

En el presente estudio, se implementó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) que incluyó 7 tratamientos y 3 repeticiones. Para analizar los datos obtenidos, se utilizó la prueba de significación de Tukey al 5% de nivel de confianza, empleando el software estadístico Infostat versión 2022.

Ecuación 1. Modelo matemático lineal utilizado

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases}$$

Donde:

- Y_{ij} =Variable de respuesta
- μ = Media general
- τ_i = Efecto del tratamiento
- γ_j = Efecto del bloque
- ε_{ij} = Efecto del error

Tabla 5. *Representación de las fuentes de variación en grados de libertad*

Fuentes de variación	gL
Tratamientos	6
Repeticiones	2
Error	12
Total	20

3.7. Instrumentos de medición

3.7.1. Materiales y equipos

4. Cuchillo
5. Balanza
6. Cuaderno
7. Computadora
8. Gramera
9. Lapiceros

3.7.1. Manejo del ensayo

3.7.1.1. Construcción de camas

Se utilizó un contenedor, que consistió en una funda plástica, dependiendo de la cantidad de sustrato requerida para la investigación. Este contenedor estuvo libre de productos químicos y contaminantes que pudieran dañar el sustrato (Rodríguez y Ortuño, 2007)

Moscoso et al., (2017) mencionaron que se realizaron perforaciones en las fundas plásticas utilizadas como contenedores para proporcionar ventilación y permitir el drenaje del exceso de agua. Los agujeros fueron lo suficientemente pequeños para evitar la pérdida del sustrato y se ubicaron en la parte superior y en los lados de las fundas.

El sustrato utilizado consistió en residuos de material orgánico, como cartón, papel, hojas secas y restos de cocina (frutas y verduras)) (Rincones et al., 2023). Se comenzó con una capa de material orgánico, como papel o cartón triturado, en el fondo de la funda plástica para mantener la humedad y proporcionar una superficie adecuada para el sustrato. Los residuos vegetales fueron triturados o picados en pedazos pequeños para facilitar su descomposición y mezcla con el sustrato. Este fue esterilizado para permitir la inoculación de las micorrizas.

Las micorrizas se añadieron uniformemente al sustrato, seguido de otra capa de material orgánico. Se mantuvo el sustrato húmedo, pero no empapado. Las fundas plásticas fueron colocadas en un lugar con condiciones adecuadas de luz y temperatura para el desarrollo de las micorrizas (Bernal y Melgarejo, 2017). Además, el sustrato proporcionó una porosidad adecuada para el intercambio de oxígeno, lo que promovió un crecimiento vigoroso de las micorrizas (Cuba, 2014).

Luego se añadirá las micorrizas uniformemente por todo el contenedor y luego una capa de material orgánico se deberá mantener húmedo, pero no empapado el sustrato.

El cuidado y mantenimiento de los sustratos es importante ya que se deberá colocar los contenedores en un lugar adecuado con condiciones de luz y temperatura apropiadas para las micorrizas (Bernal y Melgarejo, 2017). Se deberá mantener el sustrato húmedo, pero no empapado, se proporcionará ventilación si es necesario.

Finalmente, el sustrato en el contenedor deberá proporcionar una adecuada porosidad para el intercambio de oxígeno, el cual promoverá un crecimiento vigoroso de las micorrizas

(Cuba, 2014).

3.7.1.2. Esterilización de los sustratos

Los sustratos fueron esterilizados mediante la aplicación química de una solución de formol al 20%. Se preparó esta solución mezclando 200 ml de formol con 900 ml de agua para obtener 1 litro de solución al 20%. Gareca et al. (2018), señalaron que el sustrato se esterilizó con formol y se cubrió con plástico negro y mallas semisombra durante 48 horas. Una vez aplicada la solución, se procedió a cubrir con nylon para asegurar el efecto inhibitor.

3.7.1.3. Inoculación de sustratos

Las micorrizas comerciales fueron añadidas al sustrato esterilizado previamente. Este producto incluía arcilla expandida combinada con miel invertida fosfatada y tenía una densidad de 1.675 g por litro, con un contenido de humedad del 85 al 90% y un grado de infección de 500 unidades de hifas de hongos VAM (Vesicular-Arbuscular-Micorrizas).

3.7.1.4. Siembra de plantas leguminosas

Posterior a la esterilización del sustrato, se realizó la siembra de plantas de fréjol en las parcelas de estudio. Las micorrizas establecieron simbiosis con las plantas, evidenciada en la formación de nódulos que fueron contabilizados en la etapa 5,11 del presente estudio.

3.7.1.5. Medición del crecimiento de micorrizas

El recuento de nódulos se efectuó a partir de los 30 días después de la siembra (dds), repitiéndose cada 15 días hasta los 60 dds. Se seleccionaron cinco plantas leguminosas de cada tratamiento para la medición, determinándose el número total de nódulos, así como los activos e inactivos.

Las plantas recolectadas fueron trasladadas al laboratorio de fisiología agrícola de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Allí, se separaron las raíces del resto de la planta utilizando tijeras, y los nódulos fueron aislados con un bisturí. Estos se colocaron en tubos Falcon con agua estéril y se dejaron reposar durante un día. Posteriormente, se contó el número de nódulos con coloración rosada o roja intensa, indicativa de actividad en la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), siguiendo las directrices del CIAT (1994). La diferencia entre el total de nódulos y los activos correspondió a los nódulos inactivos.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluó el efecto de sustratos alternativos en la producción de micorrizas arbusculares en la zona de El Carmen, Manabí. Los resultados se presentan a continuación:

4.1. Altura de la planta de frejol "*Phaseolus vulgaris*"

a) Semana 1

Durante la primera semana, se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con un Valor P de 0,0098. El tratamiento con Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1 alcanzó la mayor altura (16,67 cm), mientras que el tratamiento Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1 presentó la menor altura (6,67 cm). Esto indica que la adición de aserrín al suelo natural favoreció el crecimiento inicial de las plantas.

b) Semana 2

En la segunda semana, se observaron diferencias estadísticamente significativas con un Valor P de 24,64. El tratamiento Suelo natural + micorrizas mostró la mayor altura (15,33 cm), mientras que el tratamiento Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1 continuó con la menor altura (11,67 cm). El uso de micorrizas favoreció un mayor crecimiento en esta etapa.

c) Semana 3

En la tercera semana, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con un Valor P de 0,1947. Sin embargo, la mayor altura se registró nuevamente en el tratamiento Suelo natural + micorrizas con 21,45 cm, lo que sugiere que este tratamiento mantiene un crecimiento constante y superior a los demás.

d) Semana 4

Durante la cuarta semana, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,2073$). La mayor altura correspondió al tratamiento Suelo natural + micorrizas con 31,00 cm, consolidándose como el tratamiento más efectivo para el crecimiento de las plantas al finalizar el periodo de evaluación.

Tabla 6. *Altura de las plantas (cm) de Phaseolus vulgaris en diferentes sustratos*

Tratamientos	Altura cm			
	Semana 1	Sema 2	Semana 3	Semana 4
Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1	16,67 a	18,33 a	20,00 a	24,56 a
Suelo natural	11,33 b	14,00 a	16,75 a	20,33 a
Suelo natural + (Ab) 0,5: 1	12,00 ab	18,33 a	20,00 a	22,00 a
Suelo natural+ micorrizas	8,67 b	15,33 a	21,45 a	31,00 a
Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5	8,67 b	13,67 a	18,00 a	21,00 a
Suelo natural + (Ca) 0,5: 1	8,33 b	13,00 a	17,67 a	20,67 a
Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1	6,67 b	11,67 a	12,33 a	19,67 a
Valor p	0,0098	0,1947	0,1947	0,2073
CV (%)	27,72	24,56	20,33	22,33

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

El crecimiento de las plantas a lo largo de las semanas mostró que los tratamientos con micorrizas y aserrín de balsa favorecieron el desarrollo de mayor altura en comparación con los demás tratamientos. En la Semana 1, el tratamiento Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1 mostró un crecimiento inicial destacado, mientras que a partir de la Semana 2 y hasta la Semana 4, el tratamiento Suelo natural + micorrizas presentó un crecimiento constante y superior, alcanzando la mayor altura (31,00 cm) al final del experimento.

En contraste, el tratamiento Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1 mostró consistentemente los valores más bajos de altura en todas las semanas, indicando una menor efectividad de este sustrato para el crecimiento de las plantas.

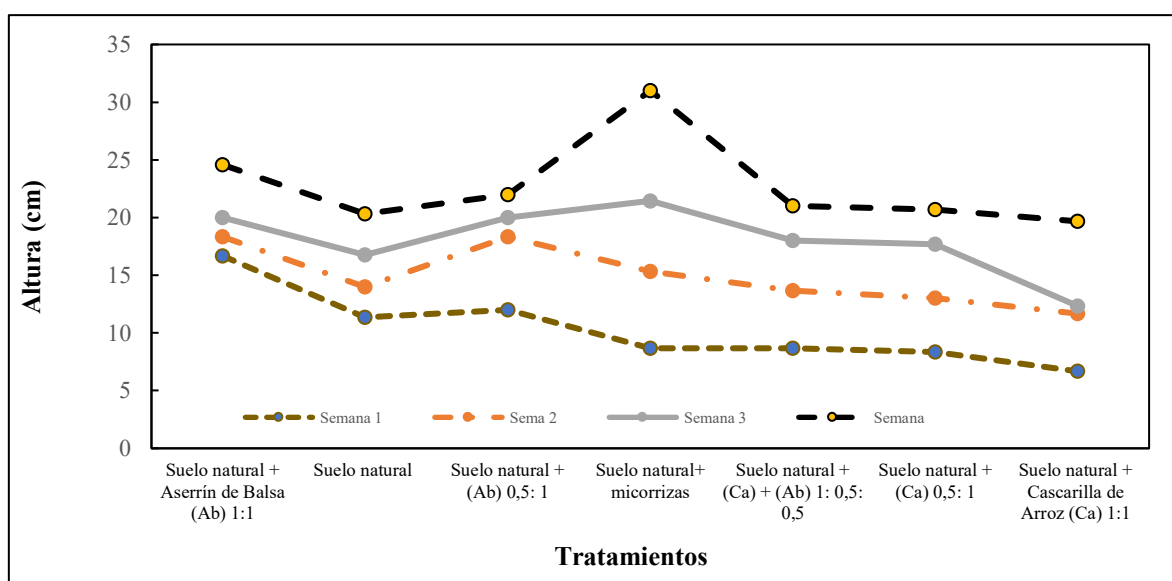


Figura 6. *Altura de las plantas (cm) de Phaseolus vulgaris en diferentes sustratos de desarrollo*

Los Hongos Micorrícicos Arbusculares (HMA) desempeñan un papel fundamental en el incremento de la altura de las plantas de fréjol al establecer una relación simbiótica con sus raíces (Cuenca et al., 2007). Esta interacción permite a los HMA colonizar el sistema radicular, formando estructuras especializadas como arbusculos y vesículas, que optimizan el intercambio de nutrientes entre la planta y el hongo (Viera et al., 2017).

Una de las principales ventajas de esta simbiosis es la mejora en la absorción de nutrientes esenciales, particularmente fósforo (P), nitrógeno (N) y micronutrientes como el zinc (Zn), elementos críticos para el crecimiento y desarrollo vertical de las plantas (Melo-Hernández, 2011).

4.2. Biomasa radicular “*Phaseolus vulgaris*”

4.2.1. Biomasa radicular (g)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (Valor $P = 0,0014$). El tratamiento con suelo natural + micorrizas registró la mayor biomasa radicular con 10,40 g, mientras que el tratamiento suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5 presentó el valor más bajo con 3,20 g. Estos resultados sugieren que la adición de micorrizas mejora significativamente el desarrollo radicular.

4.2.2. Peso seco de biomasa radicular (g)

En cuanto al peso seco de la biomasa radicular, también se observaron diferencias significativas ($p = 0,0002$). El tratamiento suelo natural + micorrizas obtuvo el mayor valor con 3,00 g, mientras que el tratamiento suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5 registró el valor más bajo con 0,25 g. Esto reafirma la eficiencia de las micorrizas en la acumulación de biomasa radicular, en comparación con los demás tratamientos.

Tabla 7. Biomasa radicular (g) y peso seco raíz (g) de *Phaseolus vulgaris* en diferentes sustratos

Tratamientos	Biomasa radicular (g)	Peso seco BR(g)
Suelo natural+ micorrizas	10,40 a	3,00 a
Suelo natural + (Ca) 0,5: 1	5,20 b	1,60 b
Suelo natural	4,70 b	1,35 b
Suelo natural + Cascarilla de Arroz (Ca) 1:1	4,10 b	1,16 c
Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1	3,90 b	0,42 c
Suelo natural + (Ab) 0,5: 1	3,90 b	0,35 d
Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5	3,20 b	0,25 d
Valor P	0,0014	0,0002
CV (%)	16,15	20,67

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

El tratamiento T0 (Suelo natural + micorrizas) fue el más eficiente, registrando la mayor biomasa radicular (10,40 g) y peso seco (3,00 g). Los tratamientos T4 y T6 presentaron un desempeño intermedio, con valores de biomasa radicular de 5,20 g y 4,70 g, respectivamente. Por otro lado, los tratamientos T1, T2, T5 y T3 mostraron los valores más bajos, destacándose T3 como el menos eficiente, con una biomasa radicular de 3,20 g y un peso seco de 0,25 g.

4.2.3. Biomasa aérea (g) y peso seco de la biomasa aérea (g)

La significancia estadística fue evidente para ambos parámetros, $p = 0,0003$ para biomasa aérea y $p < 0,0001$ para peso seco de biomasa aérea, lo que indica diferencias claras entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) fue 29,23% para biomasa aérea y 7,14% para peso BA, mostrando una variabilidad moderada en la medición.

El tratamiento T0 (Suelo natural + micorrizas) se destaca como el más eficiente, con la mayor biomasa aérea de 63,4 g y un peso biomasa seca aérea de 4,96 g. Los tratamientos T4 (Suelo natural + (Ca) 0,5:1) y T6 (Suelo natural) presentaron valores intermedios, con biomasa aérea de 17,9 g y 14,2 g, respectivamente, y pesos Biomasa aérea seca de 2,48 g y 1,58 g.

Por otro lado, los tratamientos T1, T2, T5 y T3 registraron los valores más bajos. En particular, T3 (Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5) presentó la menor biomasa aérea (6,1 g) y peso aéreo seco (0,35 g), reflejando su baja eficiencia en comparación con los demás tratamientos.

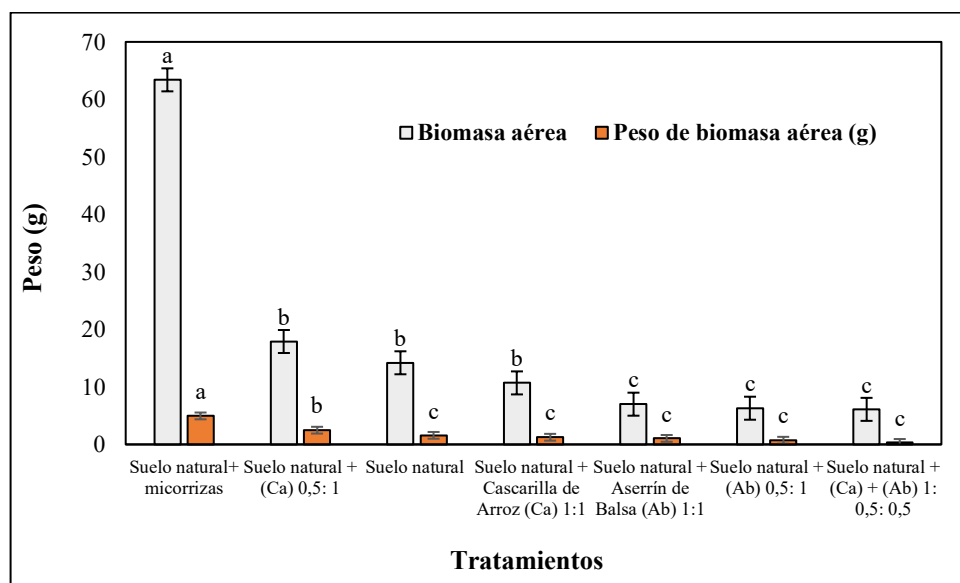


Figura 7. Biomasa Radicular (g) y Biomasa radicular seca (g) de *Phaseolus vulgaris* en diferentes sustratos

plantas desarrolladas en sustratos con micorrizas alcanzó 1,46 g a los 64 días y 28 g a los 115 días en estudios realizados en papayo (*Carica papaya* L.).

Lo anterior corrobora la eficiencia del uso de micorrizas como Bioestimulantes naturales, demostrando su capacidad para mejorar el desarrollo de la biomasa aérea y foliar en diferentes especies vegetales (Bernal y Melgarejo, 2017). En ambos estudios, se evidencia que la colonización micorrícica incrementa significativamente el volumen de biomasa foliar y el peso seco, optimizando la absorción de nutrientes y favoreciendo el crecimiento de las plantas (Garzón, 2016).

En diversas investigaciones se ha reportado que el tratamiento con Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) favorece el desarrollo de un sistema radicular más robusto al incrementar tanto la intensidad de enraizamiento como el área superficial de las raíces existentes (Pastor Calderón y Terrones Araujo, 2020).

Se ha demostrado que la colonización micorrícica puede inducir cambios en la morfología radicular, ya que las raíces colonizadas presentan una mayor ramificación y, en muchos casos, diámetros superiores en comparación con raíces no colonizadas (Garzón, 2016). Estos cambios estructurales permiten una mejor exploración del suelo, facilitando la absorción de agua y nutrientes esenciales, lo cual resulta en un crecimiento vegetal más vigoroso y eficiente (Sosa-Rodríguez et al., 2009).

4.3. Número de nódulos

Se observaron diferencias estadísticamente significativas con un $p = 0,0183$. El tratamiento "Suelo natural + micorrizas" registró el valor más alto con 61,67 nódulos, mientras que el tratamiento "Suelo natural + (Ca) 0,5:1" obtuvo el valor más bajo con 35,67 nódulos. Estos resultados indican que las micorrizas favorecen la formación de nódulos en las raíces, optimizando la fijación de nitrógeno (Tabla 8).

4.4. Largo de raíces

Para el largo de raíces, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, ya que el Valor $P = 0,2684$. Sin embargo, el tratamiento "Suelo natural + micorrizas" presentó el mayor valor con 61,67 cm, seguido del tratamiento "Suelo natural + (Ab) 0,5:1" con 55 cm. Esto sugiere que las micorrizas contribuyen a un mejor desarrollo radicular al aumentar la capacidad de exploración del suelo (Tabla 8).

4.5. Número de pecíolos

Se encontraron diferencias significativas en el número de pecíolos con un Valor P = 0,1083. El tratamiento "Suelo natural + micorrizas" mostró el valor más alto (6,33 pecíolos), mientras que el tratamiento "Suelo natural + (Ca) 0,5:1" presentó el valor más bajo (2,67 pecíolos). Estos resultados evidencian que las micorrizas también estimulan el desarrollo de estructuras foliares, favoreciendo el crecimiento aéreo de la planta (Tabla 8).

Tabla 8. *Numero de peciolo de Phaseolus vulgaris en diferentes sustratos*

Tratamientos	N.º de nódulos	largo de raíces	N.º peciolo
Suelo natural+ micorrizas	61,67 a	61,67 a	6,33 a
Suelo natural + (Ab) 0,5: 1	50,33 ab	55,00 a	4,33 a
Suelo natural + (Ca) + (Ab) 1: 0,5: 0,5	49,33 b	50,33 a	4,00 a
Suelo natural + (Ca) 0,5: 1	55,00 ab	49,33 a	4,00 a
Suelo natural + Aserrín de Balsa (Ab) 1:1	49,00 b	49,00 a	3,33 a
Suelo natural	39,67 b	46,33 a	3,00 a
Suelo natural + (Ca) 0,5: 1	35,67 c	39,67 a	2,67 a
Valor p	0,0183	0,2684	0,1083
CV (%)	38,19	32,12	48,19

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

Ferrer-Vilca y Valverde-Rodríguez (2020), reportaron que el tratamiento con estiércol de oveja (T1) obtuvo el primer lugar en su estudio con un promedio de 40,08 nódulos, superando a los demás tratamientos evaluados. Este resultado es relevante ya que evidencia la influencia positiva del estiércol ovino en la nodulación, aunque es inferior a lo reportado por Cuenca-Morocho (2021), quien alcanzó más de 50 nódulos en su investigación sobre el efecto de abonos orgánicos y la inoculación con el inoculante *Rizomack* en variedades de arveja (*Pisum sativum*).

En el presente estudio, se evaluó el crecimiento de la raíz del frijol bajo diferentes velocidades de secado del suelo, encontrándose que el número de raíces oscila entre 57,88 y 73,88, dependiendo de las condiciones específicas de secado. Además, se registró que la longitud promedio de las raíces alcanzó 24,07 cm (Ontiveros-Cortés et al., 2005).

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

El tratamiento de (Suelo natural + micorrizas) fue el más eficiente para el desarrollo del sistema radicular, registrando la mayor biomasa radicular (10,40 g) y peso seco (3,00 g). Esto evidencia que la presencia de micorrizas promueve significativamente el crecimiento de las raíces en comparación con otros tratamientos, destacándose como una opción óptima para mejorar la productividad del cultivo.

El sustrato compuesto por Suelo natural + micorrizas también se destacó como el más adecuado para la multiplicación de micorrizas, logrando el mejor desempeño en términos de biomasa aérea (63,4 g) y peso seco de biomasa aérea (4,96 g).

El tratamiento (Suelo natural + micorrizas) alcanzó la mayor altura de planta al final del experimento (31,00 cm), consolidándose como el más eficiente en todos los indicadores de biomasa y crecimiento vegetal evaluados.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

Implementar el sustrato Suelo natural + micorrizas como la estrategia principal para la producción agrícola, debido a su destacada eficiencia en el desarrollo del sistema radicular, biomasa aérea y altura de planta.

Promover la incorporación de micorrizas en sustratos naturales como una práctica agrícola sostenible, maximizando el uso de recursos disponibles localmente para mejorar la estructura y funcionalidad del suelo, optimizando así la rentabilidad de los cultivos en diferentes condiciones agroecológicas.

Ampliar investigaciones con micorrizas en diferentes cultivos y condiciones
Realizar estudios adicionales que evalúen el rendimiento de micorrizas en combinación con diversos sustratos y en otros cultivos de interés.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abud, Y., Dorantes, N., y Trujillo, M. (2008). Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 10(1), 60-70.
- Álvaro, J. (2019). *Micorrizas: Simbiosis beneficiosa*. <https://www.fertibox.net/single-post/micorrizas>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fideas G.
- Bayliss, G. (1975). *The magnolioid mycorrhiza and mycotrophy in root systems derived from it*. In 'Endomycorrhizas.' (Eds FE Sanders, B Mosse and PB Tinker) pp. 373–389.
- Beltran, A. (2022). *Efecto de la aplicación de humus de lombriz en dos variedades de lechuga (Lactuca sativa L.)* [Grado]. Universidad Agraria Del Ecuador.
- Bernal, L. I. C., y Melgarejo, J. M. M. (2017). *Efecto de micorrizas y tipo de sustrato sobre el crecimiento y estado fitosanitario de dos cultivares de achiote (Bixa orellana L.) en etapa de vivero en condiciones de piedemonte llanero (Villavicencio, meta)* [Tesis de grado]. Universidad de los Llanos.
- Biricolti, S., Ferrini, F., y Rinaldelli, E. (1997). VAM fungi and soil lime content influence rootstock growth and nutrient content. *Am J Enol Vitic*, 48, 93-99.
- Blanco, F., y Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 21(1), 55-67.
- Blancof, F. A., y Salas, E. A. (1997). MICORRIZAS en la agricultura: contextomundial e investigacionrealizada en costarica. *Agronomfa Costarricense*, 21(1), 55-67.
- Brundrett, M., Abbott, L., y Jasper, D. (1999). Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia: I. Comparison of the effectiveness and specificity of different isolation procedures. *Mycorrhiza*, 8, 305-314.
- Calabi-Floody, M., Medina, J., Rumpel, C., Condrón, L., Hernández, M., y Dumont, M. (2018). Fertilizantes inteligentes como estrategia para una agricultura sostenible— ScienceDirect. *Avances en agronomía*, 147, 119-157.
- Carpio, J., y Carpio, M. (2014). *Determinación de estrategias sociales y ecológicas de adaptación al cambio climático implementadas por los agricultores en las cuatro zonas agroecológicas de la parroquia San Joaquín* [Master's thesis]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Carrillo-Saucedo, S. M., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., y Cruz-Ortega, R. (2022). Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. *Acta botánica mexicana*, 129. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-XXXV>

- Chávez, M. Y. L., y Guillén_Navarro, K. (2015). *Acercamiento proteómico en la relación simbiótica entre la orquidea *Oncidium sphacelatum* y el hongo RG26*.
- Cuba, L. G. C. (2014). *Respuesta del pino (*Pinus radiata* D. Don.) a la aplicación de suelo micorrizado y dos tipos de sustrato en etapa de vivero en la Estación Experimental de Cota Cota-La Paz* [Tesis de grado]. Universidad mayor de San Andrés.
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., y Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1), 23-29.
- Cuenca-Morocho, J. S. (2021). *Evaluación de dos elicitores sintéticos y dos microorganismos para el manejo agroecológico de punta morada de la papa (PMP), variedad superchola*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16399>
- Díaz, A., Cortinas, H. M., Valadez, J., y Peña del Río, M. de los Á. (2014). Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 62, 56-68.
- Espindola, J. A. A., Almeida, D. L. de, Guerra, J. G. M., Silva, E. M. R. da, y Souza, F. A. de. (1998). Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33(3), Article 3.
- Ferrer-Vilca, T. H., y Valverde-Rodríguez, A. (2020). Rendimiento del frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad canaria con tres fuentes de abonos orgánicos en el distrito de Cholon, Huánuco-Perú. *Revista Investigación Agraria*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.3.901>
- García, E. D. L., Litardo, R. M., Vélez, M. U., y Pérez, Á. P. (2022). Caracterización de un sistema de producción de arroz (*Oriza sativa* L.) en el cantón Babahoyo. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.26423/rctu.v9i2.686>
- García Galindo, L. A., Capera Rivas, A., Melendez, J. P., y Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et Technica*, 25(1), 172-183.
- Gareca, E., Martínez, Y., y Aguirre, L. (2018). Efectos de los árboles exóticos y del ambiente materno sobre la producción de semillas, la germinación y el crecimiento inicial de *Polylepis subtusalbida* (Rosaceae) en el Parque Nacional Tunari, Bolivia. *Ecología austral*, 28(1), 1-19.
- Garzón, L. P. (2016). Importancia de las Micorrizas Arbusculares (Ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna azul*, 42, 217-234.

- Gerdemann, J. (1968). Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual review of phytopathology*, 6(1), 397-418.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Catie.
- Goltapeh, E. M., Danesh, Y. R., Prasad, R., y Varma, A. (2008). Mycorrhizal fungi: What we know and what should we know? En *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics* (pp. 3-27). Springer.
- Gómez, L. I. A., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., y Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300-306.
- Hayman, D. (1983). The physiology of vesicular–arbuscular endomycorrhizal symbiosis. *canadian Journal of Botany*, 61(3), 944-963.
- Hernández, R., Fernández, S., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ta ed., Vol. 3). Editorial Mc Graw Hill.
- Hernández-Rodríguez, O. A., Ojeda-Barrios, D. L., López-Díaz, J. C., y Arras-Vota, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo: *TECNOCIENCIA Chihuahua*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.54167/tch.v4i1.719>
- Holguín, M. (2015). *Evaluación del rendimiento de dos variedades de fréjol (Phaseolus vulgaris L.), en tres densidades de siembra en el recinto chipe Hamburgo №2 del cantón La Maná, provincia de Cotopax* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. 1 <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3520>
- Jeffries, P., y Dodd, J. C. (1991). The use of mycorrhizal inoculants in forestry and agriculture. *Handbook of applied mycology*, 1, 155-185.
- Kwon, J.-H., Ryu, J.-S., Chi, T. T. P., Shen, S.-S., y Choi, O. (2012). Soft rot of *Rhizopus oryzae* as a postharvest pathogen of banana fruit in Korea. *Mycobiology*, 40(3), 214-216.
- López-Moctezuma, H., Ferrera-Cerrato, R., Farias-Larios, J., y Aguilar-Espinosa, S. (2005). *Vermicomposta en el desarrollo de plantas de papayo*.
- Manjarrez, M., Alarcón, A., y Ferrera-Cerrato, R. (2000). *Bioteología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad*. In: *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular*. (Primera). Mundi-Prensa.
- Marques, M., Pagano, M., y Scotti, M. (2001). Dual inoculation of a woody legume (*Centrolobium tomentosum*) with rhizobia and mycorrhizal fungi in south-eastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 52(2), 107-117.

- Martín, G. M., y Rivera, R. (2015). Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: El maíz. *Cultivos Tropicales*, 36, 34-50.
- Melo-Hernández, Y. P. (2011). *Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate Persea americana Mill variedad Hass en diferentes sustratos* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7311>
- Molina, M., Mahecha, L., y Medina, M. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(2), 162-175.
- Montaño, N., Quiroz, V., y Cruz, G. (2001). *Colonización micorrízica arbuscular y fertilización mineral de genotipos de maíz y trigo cultivados en un Andisol*.
- Moreira, F. M., Huising, E. J., y Bignell, D. E. (2012). *A handbook of tropical soil biology: Sampling and characterization of below-ground biodiversity*. Routledge.
- Moreno-Velandia, C. A., Cotes, A. M., Beltrán-Acosta, C., Bettiol, W., y Elad, Y. (2018). *Control biológico de fitopatógenos del suelo. Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: Agentes de control biológico* (Vol. 1).
- Moscoso, M., Chango, D., Núñez, S., y Condon, L. (2017). Producción sostenible de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en la Amazonía Ecuatoriana. *In Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria–Ecuador*, 50-70.
- Múnera, G. A. (2014). *El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal* (Primera, Vol. 1). Universidad Tecnológica de Pereira. <https://hdl.handle.net/11059/5248>
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y forrajes*, 32(2), 1-1.
- Ocampo, J., y Barea, J. M. (1985). Effect of carbamate herbicides on VA mycorrhizal infection and plant growth. *Plant and Soil*, 85, 375-383.
- O'Keefe, D. M., y Sylvia, D. M. (1991). Mechanisms of the vesicular-arbuscular mycorrhizal plant-growth response. *Handbook of applied mycology*, 1, 35-53.
- Ontiveros-Cortés, A., Kohashi-Shibata, J., Yáñez-Jiménez, P., Acosta-Gallegos, J. A., Martínez-Villegas, E., y García-Esteva, A. (2005). Crecimiento de la raíz del frijol con diferentes velocidades de secado del suelo. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 311-320.
- Osorio, C. E. U., Sánchez, D. A. C., y Molano, A. E. F. (2008). Multiplication of arbuscular mycorrhizae fungi (amf) and mycorrhization effect in micropropagated plants. *evista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4279-4290.
- Pastor Calderón, D. B., y Terrones Araujo, J. V. (2020). *Efecto de la inoculación de micorrizas*

y rhizobium en la calidad biológica de suelos arenosos de Santa Elvira, Chao–Virú.

- Peng, S., Eissenstat, D. M., Graham, J. H., Williams, K., y Hodge, N. (1993). Growth depression in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply (analysis of carbon costs). *Plant physiology*, 101(3), 1063-1071.
- Pérez-Moreno, J., y Read, D. J. (2004). Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29(5), 239-247.
- Petgen, M., Schropp, A., George, E., y Römheld, V. (2015). Einfluss unterschiedlicher inokulationstiefen mit dem arbuskulären mykorrhizapilz *Glomus mosseae* auf die mykorrhizierung bei reben (*Vitis* sp.) in wurzelbeobachtungskästen. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 37(3), 99.
- Plenchette, C., Clermont-Dauphin, C., Meynard, J., y Fortin, J. (2005). Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science*, 85(1), 31-40. <https://doi.org/10.4141/P03-159>
- Raddatz, E. (2001). *VAM y la resistencia de las plantas contra causantes de daños*.
- Raina, S., Chamola, B. P., y Mukerji, J. (2012). *Mycorrhizal Biology* (1 ra). Springer Science y Business Media.
- Redecker, D., Kodner, R., y Graham, L. (2000). Glomean Fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486), 1920-1921.
- Reyes, A., Quiñones, E., Ricón, G., y López, L. (2016). Micorrización en *Capsicum annum* L. para promoción de crecimiento y bioprotección contra *Phytophthora capsici* L. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(4). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400857
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., Parra, C., Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., y Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000200011>
- Rodriguez, y Ortuño, N. (2007). Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 3(4), 697-719.
- Salazar-García, S. (2002). *Las micorrizas pueden mejorar la nutrición del árbol* (pp. 1-12). Nutrición del aguacate principios y aplicaciones. INIFAP-INPOFEOS.
- Schüßler, A., Schwarzott, y Walker, C. (2001). *A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution*. 105, 1413-1421.
- Sieverding, E. (1991). *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management: In tropical agrosystems*.

(Número C045. 072). GTZ.

- Sosa-Rodríguez, T., Sánchez, J., Melgarejo, L. M., y Muñoz, M. (2009). efecto de la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares sobre plántulas de caucho. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 31-46.
- Suarez, D. (2001). *Evaluación de sustratos para la producción de inoculantes de micorriza* [Escuela Agrícola panamericana «Zamorano»]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/10dce051-307f-495b-bd6d-a3c04829301c/content>
- Viera, W., Campaña, D., Lastra, A., Vásquez, W., Viteri, P., y Sotomayor, A. (2017). Micorrizas nativas y su efecto en dos portainjertos de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Bioagro*, 29(2), 105-114.
- Vivas-Cedeño, J., Lazo-Roger, Y., González-Ramírez, I., y Robles-García, J. (2018). Hongos micorrizicos arbusculares en el cultivo de plátano en viveros. *Dominio de las Ciencias*, 4(3), 3. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i3.790>

8. ANEXOS

Anexo 1. ADEVA de la variable altura de la planta en la semana 3

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	200	8	25	1,82	0,1689
Tratamientos	143,62	6	23,94	1,74	0,1947
Repetición	56,38	2	28,19	2,05	0,1713
Error	164,95	12	13,75		
Total	364,95	20			

Anexo 2. Aplicación de micorrizas para elaborar tierra natural



Anexo 3. Rotulación de cada uno de los tratamientos



Anexo 4. *Conteo de numero de raíz y nódulos*



Anexo 5. *Toma de datos de la longitud de la raíz*





Anexo 6. Certificado de detección de similitud


CERTIFICADO DE SIMILITUD
Suplen

Patricia Mishelle Mitte Vélez

Fecha de Emisión: 15/05/2024
Fecha de Vigencia: 15/05/2024
Fecha de Caducidad: 15/05/2024

Importante: Este certificado es válido para el uso exclusivo de la institución y no puede ser utilizado para fines comerciales.

Resumen de Similitud:

Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud	Similitud
100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuentes principales detectadas:

Nº	Descripción	Similitud	Similitud	Similitud
1	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
2	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
3	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
4	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
5	... (similitud 100%)	100%	100%	100%

Fuentes con similitud parcial:

Nº	Descripción	Similitud	Similitud	Similitud
1	... (similitud 100%)	100%	100%	100%

Fuentes ignoradas:

Nº	Descripción	Similitud	Similitud	Similitud
1	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
2	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
3	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
4	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
5	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
6	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
7	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
8	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
9	... (similitud 100%)	100%	100%	100%
10	... (similitud 100%)	100%	100%	100%

