UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

APROXIMACIONES AL USO Y A LOS IMPACTOS DE LAS MICORRIZAS EN SUELOS ANDINOS Y SU EFECTO EN EL CULTIVO DE FRIJOL (***Phaseolus vulgaris L.***)

POR:

DIEGO GABRIEL ESCOTO DOBLADO

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, CA

Enero, 2025

APROXIMACIONES AL USO Y A LOS IMPACTOS DE LAS MICORRIZAS EN SUELOS ANDINOS Y SU EFECTO EN EL CULTIVO DE FRIJOL (***Phaseolus vulgaris L.***)

POR:

DIEGO GABRIEL ESCOTO DOBLADO

PRESENTADO A:

DONALD ROY MENJIVAR PhD.

Asesor Principal

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de licenciatura.

CATACAMAS, OLANCHO HONDURAS, CA

Enero, 2025

DEDICATORIA

Agradezco a Dios, por ser mi fuerza, mi guía y mi refugio en todo momento. Su presencia me dio paz en los momentos de incertidumbre y esperanza en los momentos de dificultad. Cada paso en este camino ha sido posible gracias a su amor y sabiduría.

A mis padres, Karla Maricela Doblado Mendoza y Edwin Adalberto Escoto Vásquez y a mi abuela Cándida Rosa Mendoza, por ser mi sostén incondicional. Por su amor, comprensión y apoyo constante. Por siempre creer en mí, por sus palabras de aliento, y por estar presentes en cada etapa. Sin ustedes, este logro no tendría el mismo significado. Su apoyo emocional, sus oraciones y su compañía han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A través de su apoyo y guía, he aprendido a valorar cada paso de este proceso, no solo por los logros alcanzados, sino por el crecimiento personal que ha traído consigo. Su presencia en mi vida ha sido fundamental, y me siento profundamente agradecida por cada enseñanza, cada palabra de aliento y por estar siempre a mi lado en cada etapa de este camino.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a Dios por su constante presencia en mi vida, por brindarme la sabiduría necesaria en cada paso y por escucharme siempre que lo clamo. Gracias a Él por permitirme estar tan cerca de cumplir este sueño y por nunca dejarme sola. A mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental, les agradezco por confiar siempre en mis capacidades, por estar pendientes de mí en todo momento y por darme aliento cuando más lo necesito. A mi familia, especialmente a mis abuelos, que me han apoyado de una u otra manera con su amor y orientación. A Krisol Estefany Alvarado Alvarado, quien siempre ha estado presente para mí, por su amor, apoyo constante y por ser mi compañera incondicional. Gracias por ser mi fuente de motivación, por darme fuerzas en los momentos difíciles y por recordarme siempre que no debo rendirme. A todos ustedes: los amo con todo mi corazón.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al PhD Pedro Oyarzun, M. Sc Ross Borja, PhD Stephen Sherwood y su esposa Myriam Paredes y al PhD Greg Forbes, quienes fueron mis asesores en mi estadía en Ecuador, por su constante apoyo y orientación a lo largo de este proceso. Gracias por siempre estar pendiente de mí, por su disponibilidad y por brindarme soluciones inmediatas en cada desafío que se presentó. Su dedicación, paciencia y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y me siento profundamente agradecida por haber contado con su valiosa asesoría y haber adquirido de sus conocimientos fue de suma importancia para mi desarrollo profesional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al PhD Roy Menjívar, mi asesor principal, por su constante apoyo y orientación a lo largo de este proceso. Gracias por estar pendiente, por su disponibilidad y por brindarme soluciones inmediatas en cada desafío que se presentó. Su dedicación, paciencia y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, y me siento profundamente agradecida por haber contado con su valiosa asesoría.

Agradezco a la Fundación Ekorural por permitirme realizar mi tesis en su organización,

brindándome confianza y apoyo durante el proceso, permitiendo forjar mi carácter en el ámbito profesional. A mi amada Universidad Nacional de Agricultura, por ser el lugar donde crecí académica y personalmente. Siempre llevaré con orgullo su sello y donde quiera que vaya la representare con el máximo orgullo dejándola en alto.

Este trabajo fue hecho con amor y esfuerzo. Gracias a todos los que me acompañaron en el camino; este logro también es suyo. En especial, a Marlon Hernández, Michael Jama, PhD. Priscila Prado, David Sauce, Jhonathan Naspud y Julio Cabezas por su apoyo y amistad sincera, fundamentales en este proceso.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1
II. JUSTIFICACIÓN 3
III. OBJETIVOS 5
3.1 General 5
3.2 Específicos 5
IV. HIPÓTESIS 6
V. REVISIÓN DE LITERATURA 7
5.1 Importancia del cultivo de frijol para el país 7
5.1.1 Características generales del frijol en Ecuador 7
5.1.2 Variedad INIAP 484 Centenario 10
5.1.2.1 Origen 10
5.1.2.2 Manejo del cultivo 10
5.1.2.3 Siembra 10
5.1.2.4 Plagas y enfermedades 11
5.1.2.5 Principales características 12
5.1.2.6 Contenido nutricional 13
5.2 Problemática 13
5.2.1 Fertilidad de suelos 14
5.2.2 Dependencia a los fertilizantes sintéticos 14
5.2.3 Erosión de los suelos 15
5.3 Manejo de la problematica 16
5.3.1 Investigación local 16
5.3.2 Escuelas de campo y manejo sostenible 16
5.4 El suelo 17
5.4.1 Composición mecánica del suelo 18
5.4.2 Microbiología del suelo 19
5.4.4 Clasificación y hongos participantes 20
5.4.5 Micorrizas arbusculares o endomicorrizas 21
5.4.6 Clasificación taxonomica de las micorrizas arbusculares 22
5.4.7 Distribución de las micorrizas 25
5.4.8 Proceso de colonización de hongos micorrícicos arbusculares 25
5.4.9 Beneficios 27
VI. MATERIALES Y METODOS 29

6.1 Características del sitio experimental 29
6.1.1 Ubicación 29
6.2 Materiales 30
6.2.1 Laboratorio 30
6.2.1.1 Reactivos 30
6.2.1.2 Equipos 30
6.2.1.3 Materiales 30
6.2.2 Invernadero 31
6.2.2.1 Materiales 31
6.3 Métodos 31
6.3.1. Cuantificación e identificación de géneros de micorrizas arbusculares y determinación de porcentajes de infección en raíces de maíz, frijol, y asocio maíz/ frijol. 31
6.3.1.1 Factores en estudio 31
6.3.1.2 Parcelas en estudio 32
6.3.1.3 Análisis de resultados 32
6.3.1.4 Variables de estudio 32
6.4 Establecimiento del ensayo 35
6.5 Tratamientos 35
6.6 Obtención de suelo 35
6.7 Preparación de suelo 36
6.8 Preparación de las macetas 36
6.9 Desinfección de la semilla 36
6.10 Fertilización 36
6.11 Inoculación 37
6.12 Siembra 37
6.13 Riego 37
6.14 Variables evaluadas: 38
6.15 Diseño experimental y tratamientos 38
6.16 Análisis estadístico 39
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES 40
7.1 Asociación de hongos micorrícicos arbusculares en maíz y frijol. 40
7.1.1 Identificación de géneros de micorrizas nativas 40
7.1.2 Cuantificación de esporas 41
7.1.2.1 Zona centro - norte 41
7.1.2.2 Zona centro 42
7.1.2.3 Zona centro – sur 42
7.1.3 Porcentaje de infección de hongos micorrícicos arbusculares. 44

7.2 Eficiencia de micorrizas comerciales en variables morfofisiologías 45
7.2.1 Altura de planta a los 45 y 60 dds 45
7.2.2 Numero de hojas trifoliadas por planta a los 45 y 60 días 47
7.2.3 Unidades SPAD (Eficiencia fisiológica del N) 49
7.2.4 Materia fresca aérea 50
7.2.5 Materia fresca radicular 50
7.2.6 Materia seca parte aérea 50
7.2.8 No. de vainas / planta 52
7.2.7 Peso de las vainas 53
7.2.8 Numero de granos / vaina 55
7.2.9 Porcentaje de infección radical de micorrizas comerciales 56
VIII. DISCUSIÓN 60
IX. CONCLUSIONES 63
X. RECOMENDACIONES 64
XI. BIBLIOGRAFÍA 65
IX. ANEXOS 70

CUADROS

Cuadro 1. Superficie sembrada, cosechada y producción de frejol en Ecuador. ESPAC, ... 8

Cuadro 2. Principales plagas y enfermedades del frijol. 11

Cuadro 3. Contenido nutricional de la variedad de frijol INIAP 484 CENTENARIO 13

Cuadro 4. Restricción global del uso de agroquímicos..... 15

Cuadro 5 Conducta de las principales variables meteorológicas temperatura (media, mínima y máxima) y precipitaciones durante el período experimental. Quito, Pichincha 2025...... 29

Cuadro 6 Dosis utilizada de acuerdo a las especificaciones del producto comercial...... 37

Cuadro 7 Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de frijol en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona norte. Pichincha - Norte, 2025. 41

Cuadro 8. Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de maíz en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona centro. Cotopaxi, 2025...... 42

Cuadro 9. Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de frijol en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona centro – sur. Chimborazo, 2025...... 43

Cuadro 10. Porcentajes de infeccion de micorrizas arbusculares en distintos sistemas de cultivo en la zona norte, centro – sur y centro de la Sierra de Ecuador...... 45

FIGURAS

Figura 1. Altura de planta de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol evaluado a los 45 dds. (dds = días después de siembra) 46
Figura 2. Análisis de varianza para altura de planta evaluada a los 45 dds en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025. 47
Figura 3. Numero de hojas trifoliadas de los tratamientos en el cultivo de frijol evaluado a los 60 dds. (dds = días después de siembra) 48
Figura 4. Análisis de varianza para el No. de hojas trifoliadas a los 60 dds en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025. 48
Figura 5. Unidades SPAD evaluadas a los 20, 30, 40, 45, 50 y 60 dds en el cultivo de frijol. (dds = días después de siembra) 49
Figura 6. Peso de M.S aérea (follaje y tallos) evaluados al momento de la cosecha del cultivo de frijol. 51
Figura 7. Peso de M.S aérea (follaje y tallos) evaluados al momento de la cosecha del cultivo de frijol. 51
Figura 8. No. de vainas/planta evaluada al momento de la cosecha en el cultivo de frijol. 52
Figura 9. Análisis de varianza para No. de vainas / planta durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025. 53
Figura 10. Peso de vainas/planta evaluadas en la cosecha en el cultivo de frijol. 54
Figura 11. Análisis de varianza para peso de vainas / planta durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025. 54
Figura 12. No. de granos/vaina evaluadas en la cosecha en el cultivo de frijol. 55
Figura 13. Análisis de varianza para las variables analizadas durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025. 56
Figura 14. Porcentaje de infección de inóculos comerciales en raíces del cultivo de frijol. 57
Figura 15. Análisis de varianza para porcentaje de infección de inóculos comerciales en raíces del cultivo de frijol. 57
Figura 16. No. de esporas por gramo de suelo encontrados al momento de la cosecha en el sustrato de cangahua. 58
Figura 17. Análisis de varianza para No. de esporas por gramo de suelo en el cultivo de frijol. 59

ANEXOS

Anexo 1.Datos reales de porcentajes de infección de hongos micorrícicos arbusculares en la zona centro, zona centro sur y zona norte. Cotopaxi – Chimborazo - Pichincha - Norte, 2025. 70
Anexo 2. Datos reales para número de esporas en la zona centro – norte Cotopaxi 2025. 71
Anexo 3. Datos reales para número de esporas en la zona centro sur – Chimborazo 2025. 72
Anexo 4.Datos reales para número de esporas en la zona norte – Pichincha – Norte, 2025. 73
Anexo 5. Zona de extracción de suelo de cangahua 74
Anexo 6. Análisis de suelo recolectado para siembra de cultivo de frijol. 74
Anexo 7. Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Chimborazo, 2025. 75
Anexo 8. Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Cotopaxi, 2025. 76
Anexo 9 Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Pichincha - Norte, 2025 76
Anexo 10 Análisis de suelos de los tratamientos luego de la cosecha. 77
Anexo 11. Raíces de sistemas de cultivo de frijol, maíz y asocio maíz/frijol con presencia de hifas, vesículas y arbusculos de hongos micorrícicos arbusculares. 78
Anexo 12. Gráfico de características climáticas de la provincia de Chimborazo, 2025. 80
Anexo 13. Gráfico de características climáticas de la provincia de Cotopaxi, 2025. 81
Anexo 14. Esporas observadas en suelo de los distintos tratamientos. 87
Anexo 15. Análisis de correlación entre las Unidades SPAD y variables de rendimiento en cultivo de frijol. 89

I. INTRODUCCIÓN

El frijol (**Phaseolus Vulgaris L**.) es una de las leguminosas con mayor fuente de proteína para los ecuatorianos, consumida por más de 300 millones de personas en el mundo, principalmente por niños y mujeres (Navarrete et al., 2013). En Ecuador es de los principales cultivos transitorios sembrados, con una superficie sembrada en 2022 de 26,376 ha (INEC, 2023).

La produccion del cultivo de frijol en el año 2024 aumento un 9.2% mas que el 2023, siendo la produccion para Agosto de 2024 de 787,108 quintales (Central, 2024). La sierra norte, es la zona de mayor produccion de frijol en el pais con un total de 8,000 ha sembradas, son mas de 50 variedades de frijol sembradas actualmente pero las preferidas por la poblacion son las variedades rojo moteado, calima negra, blanco panamito y canario (Cruz, 2021).

Los suelos de la sierra Centro - Norte presentan un alto contenido de material volcanico producto de cientos años de erupciones de los principales volcanes del Ecuador, , denominada “Cangahua” en Ecuador y Colombia, “tepetate” en Mexico, en Nicaragua “talpetates”, en Costa Rica y Peru “Sillares”. se le denomina asi de este modo a cualquier suelo de origen volcanico que presente un horizonte endurecido en el perfil edafico del suelo (Lancho, 2006). “Cangahua” en Quechua significa “tierra dura y esteril”, un suelo con particulas de arena fina, limo y bajo contenido de arcilla, presentando microporosidad, con porcentajes de materia organica menor al 0.1% y bajo contenido de nutrientes primarios esenciales para la produccion de los cultivos. (Zebrowski, 1996).

Los suelos Cangahua predominan en el valle interandino de Ecuador entre altitudes de 2,200 a 3,000 msnm, compuestos por cenizas de riodacita, ricas en sílice, bajo contenido de cationes metálicos y oxígeno, y muy pobres en materia orgánica, son suelos con horizontes endurecidos, limitando la disponibilidad de nutrientes necesarios para las plantas y presentando una baja inestabilidad en su estructura debido a que carece de agregados, afectando el crecimiento eficiente de las plantas, el anclaje de las raíces y reduciendo los rendimientos esperados, estos suelos forman

parte de las tierras que son cultivadas por pequeños campesinos e indígenas para vivir (Sherwood et al., 2023; Poulenard et al., 2001; Buytaert et al., 2002; Podwojewski y Germain, 2005 citado por Fonte et al., s/f).

Se estima que son aproximadamente 270,000 ha de cangahua presente en la sierra centro norte de Ecuador, donde hay 83,000 ha de cangahua aflorante producto de la erosion natural y antropogenica, y de esa superficie 36,858 ha estan totalmente erosionadas. (Zebrowski, 1996).

En la microbiología del suelo existen microorganismos los cuales sugieren una ayuda para rehabilitar estos suelos, mediante hongos micorrícicos arbusculares, una simbiosis entre hongos del suelo y raíces de plantas, se presenta como una práctica biotecnológica e idónea para acrecentar la disponibilidad de nutrientes como Zn, Cu, Fe, P, NH4, mejoran la productividad de los cultivos, brindan tolerancia contra patógenos edáficos y actúan como fitorremediadores al almacenar metales pesados en sus hifas gracias al efecto de la acción cementante de la glomalina, proteína producida por los HMA (Camargo-Ricalde et al., 2012).

Los hongos micorricicos arbusculares son endofitos que obtienen lipidos y carbohidratos de las plantas a partir de la fotosintesis y a cambio las plantas obtienen nutrientes del suelo a traves del micelio interno y externo de los hongos que actua como una extension de las raices permitiendo la absorcion eficiente de nutrientes inmoviles como el P, Zn, Cu, y NH_4, mejora la tolerancia a la sequia, a la toxicidad por elementos como el Al, Fe y Mn actuando como fitorremediadores y mejora la resistencia de la planta contra patogenos (Walker y Laughlin, citado en Silva et al., 2023).

En esta investigación se busca evaluar el efecto de micorrizas comerciales sobre el cultivo de frijol sembrado sobre cangahua y determinar si existen presencia de asociaciones micorrícicas y esporas en de HMA en los suelos y raíces de parcelas cultivadas con monocultivo de frijol, maíz y asocio de maíz / frijol y de esta manera poder implementar alternativas agroecológicas y sostenibles las cuales fortalezcan las necesidades de los productores.

II. JUSTIFICACIÓN

En una investigación realizada por Sauce (2023) “Evaluación de la actividad biológica del suelo en diferentes prácticas de manejo de ecosistemas en San Miguel de Quera-Cacha” expone acerca de la baja actividad biológica que está presente en los suelos de Cangahua con tres distintos tipos de manejo (Agroecológico, Tradicional y Barbecho) traduciéndose esto a una baja fertilidad, a menos que sean intensificadas las prácticas de conservación y puestas en práctica correctamente para mejorar la fertilidad con celeridad, esta investigación coincide con la realizada por Palacios, Ushina y Carrera (2021, p. 2126), el cual expone la problemática de la cangahua, al ser de origen volcánico presenta características con altos índices de erosión y baja fertilidad y la realizada por (Trujillo et al., 2014, p. 109) donde expone acerca de que la presencia de materia organica en los suelos de cangahua en estado natural es menor al 0.1 %, generando la necesidad de implementar practicas de conservacion para la rehabilitacion de estos suelos.

Según Gomez et al. (2016) en su investigación “Introducción a las Micorrizas en los trópicos con énfasis en el Bosque Montano en el Sur del Ecuador” efectúa que la aplicación de micorrizas en los suelos de Ecuador se han caracterizado por su importancia para enfrentar problemas que afectan la capacidad de cultivos tradicionales para expresar su máximo rendimiento y producción, considerando que la disponibilidad de nutrientes y la presencia de microorganismos es escasa debido a la composición volcánica de los suelos andinos y a la alta tasa de deforestación que tiene el país debido al uso inadecuado de prácticas agrícolas como es la quema, destinadas para la conversión de los bosques en pastizales, es por eso que estas asociaciones micorrícicas permiten la regeneración de suelos erosionados y la reforestación de zonas afectadas al igual que a la resiliencia de las plantas a organismos patógenos.

En Honduras, Alvarado (2001), en su tesis “Evaluación de los beneficios de la inoculación con micorrizas comerciales en el cultivo de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)” evaluo el uso de

micorrizas para mejorar los bajos rendimientos del cultivo de frijol, se observo un incremento en el rendimiento y el area de la superficie de las plantas en un 13 - 18%, asi mismo el peso seco de la biomasa aerea y la fijación de nitrogeno se vio favorecido por el uso de estas.

La utilizacion de micorrizas en suelos andinos es de valiosa importancia para el ambito ambiental, economico y agricola, debido a que se ha demostrado que favorece a los cultivos agricolas a mejorar sus rendimientos productivos y en el caso del frijol a aumentar la fijación de nitrógeno, actuando como un biofertilizante debido a la simbiosis que realizan con las raices de las plantas disminuyendo la necesidad de utilizar fertilizantes quimicos, como tambien mejorando la disponibilidad de nutrientes, especialmente del fosforo el cual su disponibilidad es baja en suelos erosionados (Ormeño, 2023).

III. OBJETIVOS

3.1 General

- Muestrear suelos andinos para observar si hay presencia de micorrizas nativas y determinar el efecto de las micorrizas comerciales en el crecimiento y productividad del cultivo de frijol.

3.2 Específicos

- Evaluar el efecto de micorrizas comerciales sobre variables de crecimiento y producción en el cultivo de frijol.
- Evaluar el efecto de micorrizas comerciales sobre la concentración de clorofila en el cultivo de frijol.
- Examinar la presencia de micorrizas en cultivos de frijol y maíz a campo en suelos de comunidades andina de las regiones centro y norte.

IV. HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H_0):

La inoculación con micorrizas no tiene ningún impacto significativo sobre el rendimiento y producción del cultivo de frijol cultivado en maceteras.

Hipótesis nula (H_0)

No existen asociaciones micorrícicas en los campos agrícolas en los suelos alto-andinos

Hipótesis específicas:

La inoculación con micorrizas comerciales mejora el rendimiento y producción de los cultivos de frijol sembrados en maceteras.

Existen asociaciones micorrícicas en los campos agrícolas en los suelos alto-andinos.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Importancia del cultivo de frijol para el país

Los cultivos de frijol son de suma importancia debido al rol significativo que ejerce sobre la seguridad alimentaria de los ecuatorianos, en Ecuador es de los principales cultivos transitorios sembrados, con una superficie sembrada en 2023 de 26,376 ha (INEC, 2023). Es la tercera leguminosa más sembrada a nivel mundial por detrás del maní y la soya (Morales, 2015).

El 95% del frijol es cultivado en las regiones de la Sierra, las siembras están ubicadas en rangos de los 1,000 y 2,800 metros sobre el nivel del mar, es una de las leguminosas de consumo directo más consumidas por la población, teniendo en cuenta su gran contenido nutricional de carbohidratos y especialmente de proteínas que ofrece siendo de suma importancia para la dieta de la población (Navarrete et al., 2013).

5.1.1 Características generales del frijol en Ecuador

El frijol (***Phaseolus vulgaris L.)*** conocido con distintos nombres como: habichuelas, judías y poroto. Es una especie con distinguidas variaciones genéticas las cuales pueden variar en forma, color y tamaño, tiene dos usos: uso en la cosecha en grano seco y siendo de importancia hortícola cuando es cosechado en grano verde, es por eso que su siembra se da en gran variedad de suelos, climas y regiones, su relevancia está en que al ser una leguminosa es capaz de fijar nitrógeno reduciendo así su necesidad de aportar este elemento de forma sintética y favoreciendo la salud de los suelos, tiene un gran aporte nutricional para la dieta de las personas, al tener un gran contenido de proteínas principalmente, carbohidratos y minerales siendo importante para el uso en la agroindustria y exportación (Morales, 2015).

Esta leguminosa es una de los principales componentes de los sistemas de producción en la Sierra, es cultivada en asociación, monocultivo, intercaladas o en rotación con otros cultivos del sistema, del total del área cultivada de cultivos transitorios de Ecuador (1,302,398 ha/año) donde se incluyen más de 30 especies, las leguminosas ocupan el 14.8% de la superficie sembrada, en Ecuador se siembran un promedio de 193,195 ha/año, ya sea en monocultivo o en asocio, y se cultivan alrededor de 161,455 ha/año, dicho de otro modo, se pierden alrededor de 31,740 ha/año (Peralta et al., 2013).

Cuadro 1. Superficie sembrada, cosechada y producción de frejol en Ecuador. ESPAC,

Cultivo		Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (Tm)
Frijol seco	**Solo** **Asocio**	13,941 8,807	11,591 8,062	9,166 3,806
Frijol tierno	**Solo** **Asocio**	4,842 3,671	4,114 3,351	9,009 3,151

Las provincias con mayor producción de frijol en la Sierra son: “Imbabura (17%), Azuay (15%), Loja (14%), Chimborazo (11%), Carchi (9.5%) y en la Costa: Guayas (7.7%) y los Ríos (2.6%), y 2% en el Oriente” (Guerrero, s/f).

Descripción botánica y habitos de crecimiento

El frijol tiene un sistema radicular conformado por una raíz pivotante y raíces secundarias y terciarias, presenta un tallo erecto, rastrero o semirastrero, las hojas tienen forma de corazón, opuestas, simples y trifoliadas, contiene inflorescencias laterales, es considerada una planta dicotiledónea, siendo una especie arbustiva o de crecimiento determinado, el frijol de tipo arbustivo es el más importante dado que es la leguminosa que más se cultiva a nivel mundial (Morales, 2015).

Existen dos tipos de hábitos de crecimiento y según sus ramificaciones los frijoles se clasifican:

- Determinado (arbustivo): es caracterizado por que la planta es más pequeña, erecta, con muchas ramificaciones y el tallo principal termina en una inflorescencia.

- Indeterminado (voluble o rastrero): posee la capacidad de enrollarse en un soporte y presenta multiples inflorescencias en el tallo principal, es de porte bajo, puede contener de 15 a 20 nudos, y en ambientes ideales pueden seguir creciendo por largos periodos de tiempo.

Fijación de nitrógeno

Gracias a las bacterias del género ***Rhizobium spp.*** que realizan simbiosis con la planta, se forman nódulos en las raíces en las cuales suceden reacciones de oxido reducción del N_2 atmosférico a N aprovechable de parte de la planta (Morales, 2015).

Las bacterias del género ***Rhizobium* spp.** viven en el suelo libremente o asociadas a las leguminosas, diversos factores ambientales y microbianos poseen un amplio efecto en el proceso de infección radicular además de factores como: temperatura, pH, nutrición mineral, cantidad de ***Rhizobium spp.*** e inoculación tardía (Romero & Mellado, 2011).

Existen otras bacterias las cuales pueden ayudar a mejorar rendimientos y principalmente contribuir a la fijacion de nitrogeno por parte de frijol, estas son las cianobacterias las cuales ayudan a mejorar la fertilidad del suelo, capaces de generar sus propios fotosintatos contribuyendo a alternativas para ser utilizadas como biofertilizantes, de la misma manera existen bacterias encargadas de la fijacion de nitrogeno del genero ***Azospirillum spp.***, ***Azotobacter spp.***, ***Klebsiella spp.*** y ***Enterobacter spp.*** (Benitez & Vidal, 2016).

Condiciones edafoclimáticas y precipitación anual

- Precipitación: 350-600 mm. La falta de agua afecta la formación y llenado de vainas afectando el rendimiento. El exceso afecta al crecimiento de la planta y favorece el ataque de enfermedades. El frijol arbustivo es más un cultivo de secano.
- Altitud: Frijol arbustivo 1200–2400 msnm e inclusive hasta 2780 msnm.

Frijol voluble 2000-2900 msnm

- Fotoperiodo: 10 -12 horas.
- Temperatura: mínima 10 -12° C y máximas de 30-32° C
- Suelos: franco arenosos-limosos, aireados, con buen drenaje y ricos en M.O.
- pH: 6.5 – 7.5 Suelos ligeramente alcalinos dado que no es tolerante a la salinidad.

Ciclo de cultivo

Según Morales (2015) el ciclo de cultivo se puede ver afectado por estos factores, pero en general la duración comprende de esta manera:

- Arbustivo: 80 a 90 días para cosecha de grano tierno
  110 a 120 días para cosecha de grano seco
- Voluble: 160 a 180 días para cosecha de grano tierno
  180 a 195 días para cosecha de grano seco

5.1.2 Variedad INIAP 484 Centenario

5.1.2.1 Origen

Según el INIAP- PRONALEG, 2012 esta variedad proviene de la cruza de la variedad AMPR5 de color de grano rojo moteado resistente a roya (***Uromyces appendiculatus***) y antracnosis (***Colletotrichum lindemuthianum***) y de la variedad CAL 143 resistente a mancha angular (***Phaeoisariopsis griseola***) realizada en el año 2006 en la Granja Experimental Tumbaco (GET) por el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (PRONALEG-GA) del INIAP.

5.1.2.2 Manejo del cultivo

5.1.2.3 Siembra

El manejo de cultivo no conlleva de muchas dificultades debido a que es un cultivo que se adapta

muy bien a condiciones de sequía, algunos factores importantes a tomar en cuenta para el desarrollo del cultivo de manera correcta son:

- Época de siembra: febrero a marzo y agosto a septiembre
- Cantidad de semilla por hectárea: 90 kg
- Distancia entre surcos: 60 cm
- Distancia entre sitios: 30 cm
- No. de semillas por sitio: 3
- Fertilización: 200 kg de 11-52-00 de N y P_2O_5 o 4 a 5 toneladas de gallinaza y un kg/ha de quelato de zinc a la floración y llenado de vainas.

5.1.2.4 Plagas y enfermedades

Algunas de las plagas y enfermedades que más incidencia tienen sobre el cultivo de frijol son presentadas en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Principales plagas y enfermedades del frijol.

Plaga/Enfermedad	Síntomas	Manejo y Control
Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*)	Manchas hundidas y oscuras en hojas, tallos y vainas; necrosis en tejidos.	Uso de semillas certificadas, eliminación de residuos, fungicidas preventivos.
Mancha angular (*Pseudocercospora griseola*)	Manchas angulares con bordes oscuros en hojas, defoliación.	Uso de variedades resistentes, rotación de cultivos, aplicación de fungicidas cúpricos.
Roya del frijol (*Uromyces appendiculatus*)	Pústulas anaranjadas en el envés de las hojas.	Aplicación de fungicidas protectores, eliminación de residuos.
Bacteriosis común (*Xanthomonas axonopodis pv. phaseoli*)	Manchas marrones con halo amarillo en hojas y vainas.	Uso de semillas sanas, evitar riegos por aspersión.
Mosaico común del frijol (BCMV)	Moteado en hojas, deformación y reducción del crecimiento.	Uso de variedades resistentes, eliminación de plantas infectadas.
Mosaico dorado del frijol (BGYMV)	Amarillamiento y deformación de hojas, transmisión por mosca blanca.	Control de la mosca blanca, uso de variedades resistentes.

Mosca blanca (*Bemiscia tabaci*)	Enanismo y deformación en hojas, transmisión de virus.	Uso de trampas amarillas, control biológico, aplicación de insecticidas.
Pulgón negro (*Aphis fabae*)	Hojas enrolladas y amarillentas, presencia de melaza.	Control biológico con depredadores, aplicación de jabones.
Trips (*Frankliniella spp.)*	Manchas plateadas en hojas, deformación de brotes.	Uso de trampas adhesivas, aplicación de insecticidas selectivos.

5.1.2.5 Principales características

- Habito de crecimiento: tipo I (sin guía)
- Altura de planta (cm): 40 a 50
- Color de flor: rosado pálido
- Color de grano seco: rojo moteado con crema
- Tamaño del grano seco: grande
- Forma del grano: arriñonado
- Días a floración (dds): 42 a 45 días
- Largo de la vaina (cm): 12 a 14
- Días a cosecha en seco (dds): 90 a 110
- Numero de vainas por planta: 8 a 23
- Numero de granos por vaina: 4 a 7
- Peso hectolitrico (kg/hl): 75
- Peso de 100 granos secos (g): 55 a 58
- Adaptación (m.s.n.m.): 1400 a 2400

(dds: días después de la siembra)

Reacción a enfermedades foliares:

Esta variedad presenta resistencia a las siguientes enfermedades:

- Roya (***Uromyces appendiculatus***)
- Antracnosis (***Colletotrichum lindemuthianum***)
- Mancha angular (***Phaeoisariopsis griseola***)

Reacción a enfermedades radiculares:

- ***Fusarium oxysporum***

Reacción intermedia a plagas:

- Lorito verde: ***Empoasca kraemeri***

5.1.2.6 Contenido nutricional

Cuadro 3. Contenido nutricional de la variedad de frijol INIAP 484 CENTENARIO

Nutriente	Cantidad (por 100 g de frijol seco)
Energía (kcal)	343
Proteína (g)	22.5
Grasa (g)	1.5
Carbohidratos (g)	62.0
Fibra (g)	15.2
Calcio (mg)	110
Fósforo (mg)	340
Hierro (mg)	6.5
Potasio (mg)	1350

5.2 Problemática

La problemática asociada con la utilización de micorrizas y su impacto en los suelos y el efecto que provocan en cultivos tradicionales puede analizarse desde diferentes puntos de vista, tal como problemas edáficos provocados por la erosión, consecuencia de un agotamiento en la materia orgánica del suelo y un efecto negativo en el balance de los nutrientes del suelo (Vanek et al., ; Vanek & Drinkwater, citado en Caulfield et al., 2020, p. 1651).

La salud de lo suelos se ve afectada debido a un incorrecto uso de la tierra y el uso excesivo de fertilizantes sinteticos y pesticidas generan daños en los ciclos ecologicos que suceden en la atmosfera propiciando un retroceso en las condiciones ambientales (Sherwood et al., 2023).

La cangahua es un suelo rocoso formado a partir de erupciones volcanicas de los volcanes lozalicados en la sierra centro norte de Ecuador, conocido como suelo negro andino, es un mollisol con alto contenido de arcilla con un 1 metro de espesor, dependiendo de la vertiente en que se localice, sin embargo, la erosion natural y antropogenica ha provocado el afloramiento de la cangahua y reducido sus propiedades fisicoquimicas para ser considerado suelos agricolas. (Trujillo et al., 2014).

En una investigacion realizada por Cobb et al., 2025, explican como el tratamiento de semillas con fungicidas reducen la colonizacion de HMA nativos y aislados en el cultivo de trigo sembrado en invernadero y en campo, mostrando evidencia de como el uso de agroquimicos dañan los ecosistemas que se encuentran bajo el suelo y evitan la formacion de asociaciones simbioticas entre organimos.

5.2.1 Fertilidad de suelos

La degradación de los suelos interandinos, muestran una problemática para factores importantes que permiten el buen desarrollo de la agricultura (Sims & Rodriguez, 2000). Alrededor de la mitad del presente siglo, se realizaron unos cambios en la agricultura moderna apoyado de la ciencia, donde se acrecento el uso de fertilizantes sinteticos, pesticidas, semillas mejoradas o hibridas y el uso de la mecanizacion agricola generando un impacto negativo a la larga en la fertilidad del suelo (Camacho, 2017).

5.2.2 Dependencia a los fertilizantes sintéticos

Según la ONU (2020) la utilización de fertilizantes sintéticos ha significado un impacto negativo para el medio ambiente así mismo para la agricultura, principalmente el nitrógeno que es uno de los mayores contaminantes, generando un daño irreversible sobre los animales, el agua y las personas. La alta dependencia hacia estos fertilizantes sintéticos ha generado daños irreversibles en el medio ambiente y en la salud de suelos, generando la necesidad de buscar alternativas que apoyen a la regeneración de los suelos (Camacho, 2017).

Cuadro 4. Restricción global del uso de agroquímicos

Aspecto	Descripción
Principales razones	**Impacto ambiental: Genera contaminación de suelos, acuíferos y biodiversidad.**
	Impacto en la salud humana: Aumenta el riesgo de enfermedades, problemas endocrinos y neurológicos.
	Resistencia de plagas: El uso excesivo de agroquímicos genera resistencia a ellos, lo cual dificulta el manejo y aumenta el umbral económico.
	Regulaciones y cumplimiento internacional: Convenios internacionales como Estocolmo y Rotterdam regulan el uso de químicos peligrosos.
Estrategias en curso	**Prohibiciones especificas: Se prohíbe el uso de agroquímicos como el glifosato, paraquat y clorpírifos.**
	Fomento de la agricultura sostenible: Se hace consciencia sobre el daño de los agroquímicos y la promoción de sistemas libres de agroquímicos.
	Desarrollo de alternativas: Uso de bioplaguicidas y biofertilizantes.
	Regulación estricta: Regulación en sanidad de alimentos y requisitos de control y registro más rigurosos.
	Buenas prácticas agrícolas: Utilización de manejo integrado de plagas, rotación de cultivos y prácticas de conservación de suelos.
Perspectiva futura	**Se busca la reducción gradual del uso de agroquímicos para favorecer el manejo sostenible de la agricultura y evitar daños en la salud humana, acuíferos y en la biodiversidad.**

5.2.3 Erosión de los suelos

Las practicas no sostenibles y la agricultura intensiva incrementan la degradación y erosión de los

suelos interfiriendo en el desarrollo y la productividad de los cultivos (Sandoval, 2001).

Según Camacho (2017) la mala utilizacion de tecnologias agricolas como la mecanización agrícola, fertilizantes sinteticos y pesticidas ha generado un daño en la estructura del suelo y su contenido de materia orgánica provocando la erosión de suelos.

5.3 Manejo de la problematica

Con el fin de abordar de manera correcta los desafíos del uso de micorrizas para mejorar los problemas de degradación, erosión y baja disponibilidad de nutrientes, así mismo el rendimiento y producción del cultivo de frijol y mejorar la sostenibilidad de la agricultura, es importante hacer uso de prácticas agrícola sostenibles y políticas adecuadas.

5.3.1 Investigación local

Según Alvarado (2001), las micorrizas son una alternativa sustentable para reducir la dependencia del uso de fertilizantes químicos y como estos mejoran los rendimientos en fijación de nitrógeno y biomasa seca aérea del cultivo de frijol, así mismo estableciendo la colonización de la rizosfera de estos microorganismos que pueden ayudar a la regeneración de los suelos para el futuro.

Las asociaciones micorrícicas mejoran notablemente la producción del maíz en cuanto a mazorcas más vigorosas y granos más grandes, en asocio con los fertilizantes, estas permiten que se logre una buena inoculación y disminuir el uso de fertilizantes favoreciendo una reducción en los costos (Hernandez et al., 2023). Del mismo modo, Sandoval (2001) expone como los HMA ayudan a evitar la degradacion de los suelos de ladera mediante la inoculacion y colonización de estos en cultivos silvestres y autoctonos.

5.3.2 Escuelas de campo y manejo sostenible

La participación con pequeños productores permite hacer consciencia para el uso correcto de la

tierra y un manejo sostenible, generando un cambio en el pensamiento de utilizar prácticas agrícolas como cero labranza o la incorporación de enmiendas orgánicas que permitan un incremento en la microbiota del suelo y la disponibilidad de nutrientes reduciendo de esta manera la degeneración de la estructura del suelo haciendo énfasis en la calidad de suelos del valle interandino de Ecuador (Sherwood et al., 2023).

El uso de barreras vivas, cero labranza y regeneracion de suelo mediante utlizacion de abonos y enmiendas organicas ayudan a fortalecer las acciones que conlleva la agricultura regenerativa, permitiendo de esta manera ofrecerle al productor una ayuda en el impacto economico que pueden generar estas practicas en sus suelos fortaleciendo la presencia de microorganismos, la cantidad de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes (Caulfield et al., 2020).

5.4 El suelo

Según Gavande (1982), el suelo es un sistema complejo y fragmentado, que se divide en 3 fases (solida, liquida y gaseosa), cambiante, que se establece por procesos activos provocados por factores tales como la luz, la temperatura, la presión integral, el agua, los organismos y los solutos.

El suelo, según Baver et al. (citado en Sandoval, 2001) es considerado un sistema constituido por 3 fases: una fase liquida, una fase gaseosa situada en el espacio poroso de las partículas del suelo y una fase sólida, la cual contiene dos fracciones: una mineral que consiste en partículas de distintos tamaños, estructura y composiciones químicas, así mismo una fracción orgánica que se basa en residuos orgánicos en diferentes estados de descomposición y organismos vivos (p. 7).

El suelo es una estructura formada por varias capas individuales conocidas como horizontes y al conjunto de esas capas individuales se les conoce como perfiles de suelo, las cuales van cambiando a través de los años y muestran diferencias entre ellos dependiendo de la posición en que se encuentren, FitzPatrick sugiere que el suelo es “Un continuo de espacio-tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre (p.23).

Hillel (2008), describe el suelo como un sistema natural compuesto por la capa más externa de la corteza terrestre que interactúa con la atmósfera y los organismos vivos. Esta capa es dinámica y está formada por minerales, materia orgánica, agua y aire, elementos que se combinan bajo la influencia de factores como el clima, los organismos, el relieve y el tiempo. Es considerado el soporte físico y nutricional de la vida en los continentes, ya que en él se encuentran los recursos necesarios para el crecimiento de las plantas (p .7).

5.4.1 Composición mecánica del suelo

Generalmente, podemos decir que el suelo está compuesto por tres fases, que, en condiciones perfectas, el 50% de la composición corresponde a la fase sólida, del 15% al 35% la fase liquida y del 15% al 35% a la fase gaseosa, el agua es participe en la variación del porcentaje de los últimos dos componentes. La fase sólida, formada por una interacción de sustancias orgánicas e inorgánicas (Gavande, 1982).

- Sustancias orgánicas

Las sustancias orgánicas del suelo son compuestos orgánicos o materia orgánica, derivada de organismos vivos, tales como plantas, animales y microorganismos, las cuales ejerce una gran responsabilidad sobre algunas propiedades físicas del suelo como: la estructura, la penetración, retención de agua y la composición, esta proporciona lo que sería recursos energéticos y actividad biológica y actúa directamente sobre los procesos físico-químicos y biológicos del suelo. (Gavande, 1982; Aguilera, 2000)

La materia organica favorece el desarrollo de las plantas a traves de sus efectos sobre las propiedades fisico-quimicos y biologicas del suelo, la anterior mencionada desempeña una **función nutricional**, actuando como fuente de nutrientes principales esenciales tales como nitrogeno, fosforo, potasio y azufre; una **función biológica**, al influir de manera significativa en la actividad de la **microflora** y la **microfauna***;* y una **función física**, en la que favorece una estructura adecuada, lo que mejora las labores de **cultivo, aireación** y **retención de agua.** El **humus** también

juega un papel secundario en el suelo, debido a sus efectos sobre la absorción de **micronutrientes** por las plantas y el rendimiento de **herbicidas** y otros productos agroquímicos (Silva, 1998).

La materia organica del suelo es la fuente de alimentacion de las redes tróficas del suelo, los hongos, bacterias y demas depredadores del suelo transforman los nutrientes presentes en la materia organica y los liberan en forma disponible para las plantas (Ingham, 2011).

- Sustancias inorgánicas

Las sustancias inorgánicas del suelo son principalmente minerales, nutrientes esenciales y sales solubles derivadas de la meteorización de rocas. Los minerales, tanto primarios (como cuarzo y feldespatos) como secundarios (como arcillas, óxidos de hierro y aluminio), forman la base sólida del suelo y son determinantes para la retención de agua y nutrientes. Los nutrientes inorgánicos, en formas como nitratos, fosfatos y potasio, son absorbidos por las plantas, mientras que las sales solubles y gases como CO_2 y O_2 regulan procesos químicos esenciales. Estas sustancias determinan la estructura, fertilidad y dinámica química del suelo, influyendo directamente en la productividad agrícola y la sostenibilidad (Gavande, 1982).

5.4.2 Microbiología del suelo

Constituida por diversos organismos vivos que se encuentran en el suelo como ser los **microorganismos** entre ellos hongos, bacterias y actinomicetes, la **microbiota protozoaria** (Rizopodos, flagelado y ciliados) y **microbiota de organismos superiores** (hormigas, nematodos, lombrices, termitas, colembolas), estas representan el 1% del contenido de MOS pero sin embargo son las encargadas de la actividad biológica que resultan en las reacciones que provocan la disponibilidad de nutrientes, la formación y estructura del suelo, interacción con las plantas (Aguilera, 2000).

Muchos de estos microorganismos habitan entre los espacios porosos del suelo y en el suelo, los habitats que se encuentren dependeran de ciertos factores como pH, humedad, textura, porosidad, etc…, muchos de estos microorganismos se alimentan entre otros y algunos se alimentan de

nutrientes que se encuentran en el suelo como las bacterias quimioautotroficas, las cuales se alimentan de nitrogeno, como estos microorganismos del suelo se alimentan y descomponen sustancias organicas para convertirlas a inorganicas y disponibles para las plantas, es importante mantener un balance en la biomasa microbiana que tienen los suelos para mantener una salud del suelo estable y una produccion en los cultivos eficiente (Ingham, 2011).

5.4.3 Generalidades de las micorrizas

Las micorrizas, término que proviene del vocablo griego ***myces*** = hongo y ***rrhiza*** = raíz (su significado literal es raíz fúngica), fue empleado por primera vez por el biólogo alemán Albert B. Frank en 1885, son asociaciones simbióticas entre hongos y raíces de plantas, donde existe un beneficio mutuo, las plantas aportan al hongo carbohidratos y un microhábitat, mientras que el hongo mejora la captación de agua, nutrientes minerales (especialmente fósforo) y protege contra patógenos, este mutualismo, esencial para la agricultura regenerativa, se originó hace aproximadamente 462-353 millones de años y ha sido clave para el éxito de las plantas terrestres (Camargo-Ricalde et al., 2012).

5.4.4 Clasificación y hongos participantes

Según Camargo-Ricalde et al. (2012) las micorrizas se clasifican de acuerdo a la estructura que desarrollan, la forma de infestación en la raíz y las especies de hongos y especies vegetales asociadas, estas pueden ser:

- De acuerdo a su estructura o tamaño: pueden clasificarse en micromicetos y macromicetos y forma parte de los filos Glomeromycota, Ascomycota y Basidiomycota.
- Según las plantas hospederas: pueden establecerse en las gimnospermas (plantas que no forman flores como los pinos), angiospermas (plantas que forman flores), briofitas (musgos), equisetofitas y los helechos (tanto en el gametofito como en el esporofito).
- De acuerdo a la forma de infestación de hongos y raíces:

1. Micorrizas con manto fúngico

a) Ectomicorrizas: Prevalece en ecosistemas forestales con alta presencia de materia orgánica,

ubicados en clima templado-frío y latitudes y altitudes intermedias, presentes principalmente en plantas gimnospermas. Se forman asociaciones principalmente en arboles como pinos, robles y abedules y no penetran las células de las raíces de las plantas, el hongo forma una capa densa llamada manto micelial o red de Hartig alrededor de las raíces y extiende sus hifas hacia el suelo, mejorando la absorción de agua y nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno.

b) Micorriza arbutoide: Son asociaciones entre hongos y plantas de la familia ***Ericaceae***, como los géneros ***Arbutus*** y ***Arctostaphylos***. Estos hongos forman una capa externa alrededor de las raíces sin entrar al córtex.

c) Micorriza monotripoide: esta asociación es particular ya que los hongos se asocian con plantas no fotosintéticas de la familia ***Ericaceae*** del género Monótropa, estas plantas carecen de clorofila por lo cual dependen de las micorrizas para obtener los nutrientes necesarios para su desarrollo.

2. Micorrizas sin manto fúngico

a) Micorriza arbuscular o endomicorriza: prevalece en zonas de clima cálido seco, cálido húmedo y templado-frío, dominadas por herbáceas y leñosas, en suelos minerales de bajas latitudes. Es una asociación entre hongos y raíces de las plantas, donde las hifas del hongo se extienden dentro de las células de las raíces de las plantas, formando estructuras conocidas como arbúsculos y vesículas, facilitando el intercambio de nutrientes.

b) Micorriza ericoide: Predominan en altitudes elevadas y altas latitudes. Son asociaciones simbióticas entre hongos y plantas de la familia ***Ericaceae***, principalmente del género ***Arbutus***, ***Rhododendron*** y ***Vaccinium*** (arándanos), forma una capa densa de hifas alrededor de las raíces de la planta, pero también se extiende hacia el interior de las células epidérmicas de la raíz, donde puede formar una red de hifas en forma de bobinas.

c) Micorriza orquideoide: estas asociaciones simbióticas son particulares debido a que actúan en raíces de las orquídeas, son importantes ya que actúan en la germinación y crecimiento inicial de las semillas.

5.4.5 Micorrizas arbusculares o endomicorrizas

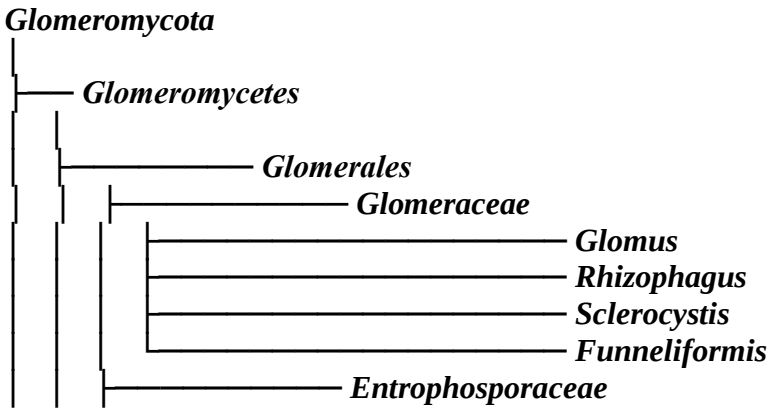
Este tipo de asociación hongo-raíz es de las más extendidas en la naturaleza, formado por algunos zigomicetos, según Alexopoulos y Mims, 1979 citado en Gomez et al., 2007 los zigomicetos "se refiere a hongos con producción de esporas de pared gruesa formadas como resultado de la fusión de dos gametangios que pueden surgir del mismo micelio o de diferentes micelios, los cuales suelen ser cenocíticos", estos no desarrollan red de Hartig como las ectomicorrizas y su colonización se da intracelularmente de la corteza de la raíz por medio de estructuras especializadas denominadas arbusculos, de ahí su nombre de micorrizas arbusculares, sin embargo ciertas endomicorrizas desarrollan vesículas, conformadas principalmente por lípidos, a diferencia de los arbusculos, estas vesículas realizan la colonización en la parte intercelular de la corteza de la raíz y se consideran depósitos de nutrientes (Gómez et al., 2007).

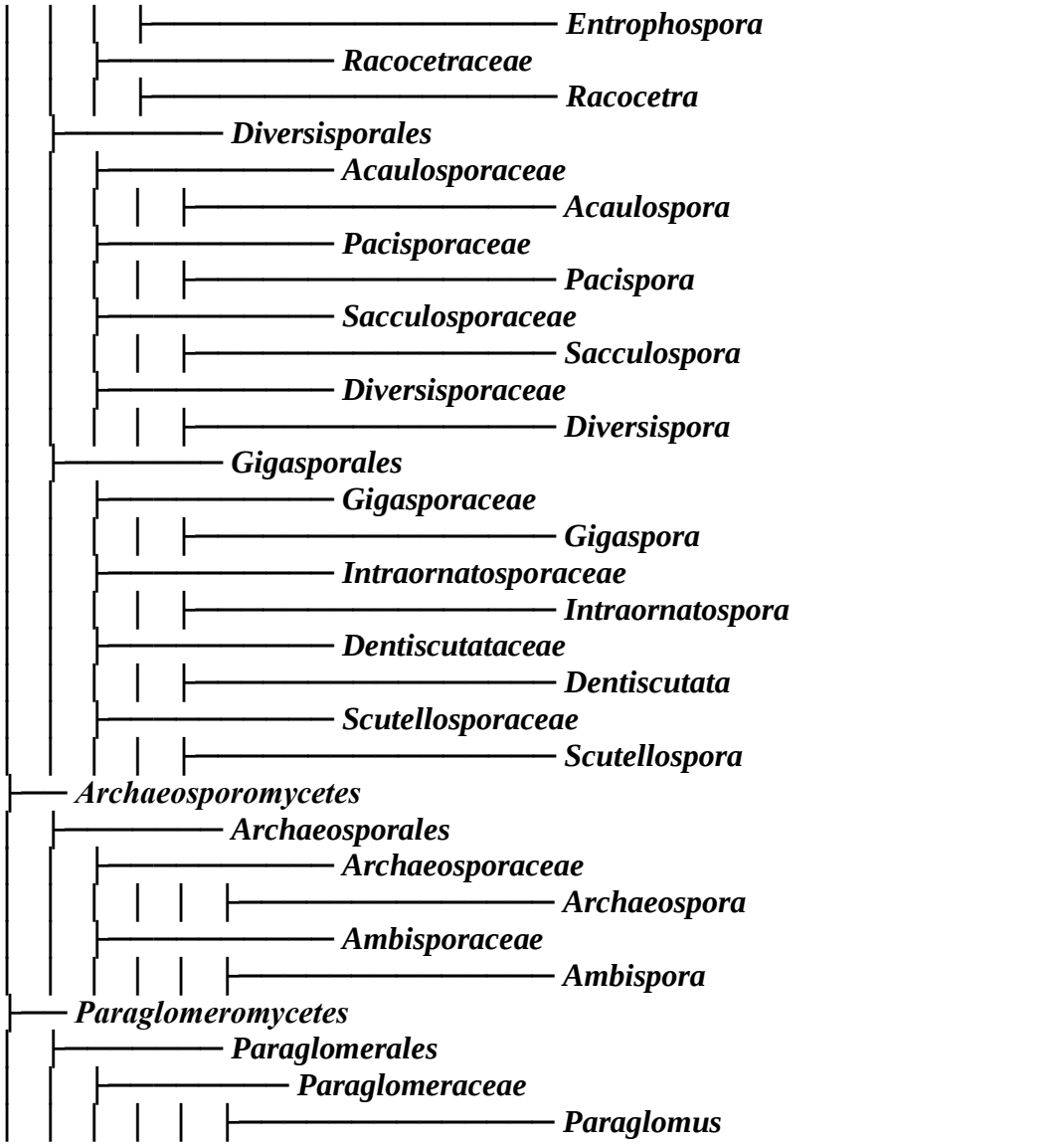
El método de reproducción de las micorrizas es a través de la reproducción asexual, mediante esporas, propágulos en raíces infectadas y a través de fragmentación del micelio, no se ha podido determinar un método de reproducción sexual o reproducción in vitro la cual permita agilizar el proceso de multiplicación (Gómez et al., 2007).

5.4.6 Clasificación taxonomica de las micorrizas arbusculares

Los hongos micorrícicos arbusculares están clasificados en 15 familias, según Goto et al., citado por (Akhtar et al., 2018), siendo un avance para la identificacion de nuevas familias y generos presentes en los diferentes ecosistemas.

- Clasificación taxonómica de HMA





Clasificación de HMA propuesta por Goto et al., 2012

Familia ***Glomeraceae***

- ***Glomus*** (85 especies): Esporas blásticas en hifa de sostén, solitarias o en esporocarpos. Vesículas delgadas. Hifas intrarradicales poco enrolladas. Arbúsculos con troncos aplanados o cilíndricos. Germinación por hifa o pared esporal. Las especies presentan de 1 a 4 capas en la pared.

Familia ***Acaulosporaceae***

- ***Acaulospora*** (31 especies): Esporas laterales al cuello de un sáculo esporífero (cicatriz visible). Variables vesículas. Hifas rectas o enrolladas. Micorriza débilmente teñida. Germinación por estructura esférica flexible.
- ***Entrophospora*** (5 especies): Esporas dentro del cuello del sáculo (dos cicatrices). Características similares a ***Acaulospora***.

Familia ***Archaeosporaceae***

- ***Archaeospora*** (1 especie): Esporas terminales o en ramificaciones de sáculo. Arbúsculos e hifas débilmente teñidos. Pared esporal de 3-4 capas. Especies dimórficas (acaulosporoides y glomoides).

Familia ***Ambisporaceae***

- ***Ambispora*** (8 especies): Dimórficas (acaulosporoides y glomoides). Esporas acaulosporoides del cuello de sáculo; glomoides aisladas o en racimos. Germinación por hifa suspensoria. Raíces teñidas en azul.

Familia ***Paraglomeraceae***

- ***Paraglomus*** (2 especies): Esporas terminales en hifa de sostén (como ***Glomus***). Arbúsculos e hifas débilmente teñidos. Germinación similar a ***Glomus.***

Familia ***Pacisporaceae***

- ***Pacispora*** (7 especies): Esporas terminales en hifa de sostén. Pared esporal y germinal de 3 capas (segunda capa reacciona con Meltzer). Germinación directa por pared esporal.

Familia ***Gigasporaceae*** (Suborden ***Gigasporineae***)

- ***Gigaspora*** (5 especies): Esporas en célula esporógena bulbosa. Células auxiliares papiladas. Sin vesículas. Hifas enrolladas. Arbúsculos con troncos hinchados. Pared esporal de 2 capas. Germinación con tubo y verrugas.

- ***Scutellospora*** (30 especies): Similar a Gigaspora, pero tiene células auxiliares lisas a nodosas. Pared esporal de 2 capas permanentes + 1-3 germinales. Germinación por escudo flexible.

5.4.7 Distribución de las micorrizas

Su distribución se da en todos los ecosistemas del mundo y en el 90 % de las plantas en distintos tipos de suelos y climas, esto quiere decir que tienen un buen nivel de adaptación a distintos y múltiples hábitats, sin embargo, se puede ver afectada debido a factores físicos y químicos del suelo (Camargo-Ricalde et al., 2012).

5.4.8 Proceso de colonización de hongos micorrícicos arbusculares

Según (Guerrero Forero, 1996) el proceso de colonización de micorrizas consiste en 6 etapas básicas:

1. Pre-infeccion
2. Penetración
3. Colonización intrarradical
4. Desarrollo del micelio externo
5. Esporulación del hongo
6. Reinfección

La pre-infección se asocia a la actividad de propágulos infecciosos presentes en el suelo como pueden que se encuentran en la rizosfera tales como: micelio fúngico, células auxiliares, esporas, vesículas, hifas externas existentes en raíces micorrizadas. Se da la germinación a partir de estímulos de exudados radicales, se genera la activación de la espora creando tubos germinativos los cuales se elongan hasta el interior de la raíz, el micelio es estimulado por los exudados radicales y se forma una estructura en forma de abanico, posteriormente se da la penetración.

Durante la penetración se da la formación de un punto de entrada llamado apresorio donde se forma

un abultamiento en el punto de contacto sobre la superficie de la raíz, al penetrar el micelio del hongo, se genera una unidad de colonización que se extiende hasta 1 cm de distancia, en esta etapa el avance de la infección se restringe a la epidermis y al parénquima cortical, la endodermis actúa como una barrera que impide el paso del hongo hacia el cilindro vascular, evitando una infección sistémica, una vez penetra el hongo se genera la colonización intrarradical. Existe evidencia científica que las flavonas, isoflavonoides y el flavonoide quercetina estimulan el crecimiento de hifas in vitroe in situ, de igual manera se sugiere que estos compuestos promueven la simbiosis del hongo y la planta a partir de la estimulación de células en la primera fase de la simbiosis (Sharma & Jhori, 2002, citado por Camarena Gutiérrez, 2012).

En la colonización intrarradical se genera la formación de hifas ramificadas inter e intracelularmente que se dispersan a través del sistema radical, estas hifas se extienden entre las células corticales las cuales generan estructuras como:

- Arbusculos: tienen apariencia de haustorios, estos forman superficies de contacto cerca del cilindro vascular y son los encargados del intercambio de nutrientes entre raíces y hongos, debido a que se llenan de gránulos de fosfatos.
- Vesículas: son estructuras formadas a partir de la reservas de carbono que se almacenan en forma de lípidos, su función es el almacenamiento de reservas de carbono y sirven como órganos de propagación que se pueden encontrar inter e intracelularmente.

Luego de la colonización intrarradical ocurre el desarrollo del micelio externo o micelio extramatrical (ME), este ocurre simultáneamente al avance de la infección cortical (MI), actuando como un puente el cual conecta al suelo con el interior de la raíz, las hifas externas se proyectan en el suelo algunos centímetros más allá de la superficie radical y tienen la capacidad de establecer vínculos con raíces adyacentes y su función es absorber nutrientes del suelo y así mismo se desarrollan otras estructuras reproductoras del hongo. La relación ME/MI es un importante indicador de la actividad biológica de las micorrizas.

La esporulación ocurre luego de varias semanas de establecido el hongo en la rizosfera, en este momento el hongo está en condiciones de esporular, en este caso las condiciones ambientales del

suelos son muy influyentes, el estrés hídrico por falta de humedad en el suelo induce a el hongo a la producción y liberación de esporas.

La mayoría de ***Glomaceas*** se reproducen por esporas asexuales ectocarpicas (azigosporas y clamidosporas, los ***Sclerocystis*** se desarrollan en esporocarpios organizados, y se tiene cierta evidencia que hongos de la familia ***Gigasporaceae*** se reproducen sexualmente (Morton, 1990; citado por Guerrero, 1996). En una investigación realizada por Powell, 1979 citado por Guerrero, 1996 se estableció que los hongos micorrícicos se expanden en el suelo a razón de 0.6-3.2 metros/año documentando de esta manera la importancia de los hongos micorrícicos arbusculares en la rizosfera.

5.4.9 Beneficios

Según Smith & Read (citado por Camargo-Ricalde et al., 2012) las plantas que forman estas asociaciones micorrícicas favorecen la fisiología y ecología de estas al mejorar la producción, supervivencia y reproducción de las plantas, así mismo mejoran el rendimiento en un 15 a 50%, estos hongos cumplieron un rol importante hace muchos años para el establecimiento de las primeras plantas tomando en cuenta que la Tierra todavía no se había mineralizado, permitiendo que se adaptaran a los medios con mayor facilidad.

Las hifas de los hongos micorrícicos son consumidas por la fauna del suelo y representan una importante biomasa y sumidero de carbono, con hongos recibiendo hasta el 90% del carbono de las plantas, estas hifas de tamaños promedio de 2 – 8 µm forman redes que conectan raíces de la misma o diferentes especies, permitiendo el intercambio de nutrientes y carbono (Camargo-Ricalde et al., 2012).

Las funciones de las micorrizas es mejorar la absorción de agua y nutrientes debido a que pueden extenderse a mas profundidades que el sistema radicular no puede, asi mismo, brinda un antagonismo contra agentes patogenos tales como hongos, bacterias y parasitos, mejora la resistencia a condiciones ambientales, mejora la estructura del suelo y contenido de MOS gracias

a una glucoproteína exudada por el micelio conocida como glomalina, favoreciendo a la estabilidad y estructura del suelo, reduciendo los daños causados por erosión y mejorando la capacidad de retención de agua (Camargo-Ricalde et al., 2012).

Las micorrizas, representan un gran beneficio para la economia del productor, debido a que al hacer uso de estas, se mejora la capacidad de absorcion de nutrientes y agua, la cual contribuye a mejorar los planes de fertilización, reduciendo el uso de estos desde un 50-80%, contribuyendo al incremento de la producción de grano e influyendo en el ejercicio de una agricultura sostenible y una mayor cantidad de masa microbial en el suelo (Camacho, 2017; Alvarado, 2001).

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Características del sitio experimental

6.1.1 Ubicación

El trabajo de investigación se realizó en el invernadero e instalaciones de la Fundación Ekorural, cuya ubicación se encuentra en:

Provincia: Pichincha
Cantón: Quito
Parroquia: Cumbayá
Latitud: S 1° 49’52’’
Longitud: O 78° 11' 00’’
Altitud: 2300 m.s.n.m.

Cuadro 5 Conducta de las principales variables meteorológicas temperatura (media, mínima y máxima) y precipitaciones durante el período experimental. Quito, Pichincha 2025.

Promedio	Precipitación (mm)	Temperatura (°C) Exterior			Temperatura (°C) Invernadero		
		Min.	**Med.**	**Max.**	**Min.**	**Med.**	**Max.**
Enero-	512.6	10.2	14.2	21.7	14.8	18.6	26.7
Febrero		10.7	14.1	21.2	15.4	18.4	28.9
Marzo		10.1	13.9	21.2	14.5	18.3	27.6
Abril		10.2	14.4	22.1	14.3	17.8	27.5

Datos obtenidos de la estación meteorológica Fundación Ekorural, Cumbaya, Quito, 2025.

6.2 Materiales

6.2.1 Laboratorio

6.2.1.1 Reactivos

Es de suma importancia contar con los reactivos necesarios para la realización de los protocolos para tinción de raíces y prospección de HMA en suelo, dichos reactivos fueron:

- Azul de tripano
- Tinta permanente azul
- Hidróxido de potasio
- Ácido clorhídrico
- Ácido acético
- Peróxido de hidrogeno
- Glicerol
- Sacarosa al 45%
- Agua destilada
- Agua
- Alcohol

6.2.1.2 Equipos

- Balanza
- Centrifuga
- Agitador magnético
- Bomba de vacío
- Microscopio óptico
- Cámara fotográfica
- Centrifuga de vasos de precipitado

6.2.1.3 Materiales

- Semilla de variedad INIAP CENTENARIO 484 (***Phaseolus vulgaris L.***)
- Portaobjetos, pinzas, tubos de ensayo, cubreobjetos
- Tamices de 500 um, 154 um, 38.5 um y 25 um
- Tubos de para centrifuga de 15 ml, vasos de precipitación de 250 mL, 100mL y 50 mL
- Embudo plástico de 40 cm de diámetro, papel filtro Whatman porosidad 25 um y diámetro de 90 mm
- Libros de campo y lápiz
- Pala, azadón y barreno

6.2.2 Invernadero

6.2.2.1 Materiales

- Base de macetas
- Macetas de 3.0 kg de capacidad
- Micorrizas comerciales
- Bote de spray
- Trampas para insecto

6.3 Métodos

6.3.1. Cuantificación e identificación de géneros de micorrizas arbusculares y determinación de porcentajes de infección en raíces de maíz, frijol, y asocio maíz/ frijol.

6.3.1.1 Factores en estudio

1. Región

- Región centro – norte (Pichincha Norte)
- Región centro (Cotopaxi)
- Región centro – sur (Chimborazo)

2. Sistemas de cultivo

- Monocultivo de maíz
- Monocultivo de frijol

- Asocio de maíz y frijol

6.3.1.2 Parcelas en estudio

Estas se establecieron en base a la región y el sistema de cultivo: 30 parcelas entre las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Pichincha – Norte tomando muestras de sistemas de cultivos de 10 parcelas de asocio de maíz y frijol, 10 parcelas de monocultivo de frijol y 10 parcelas de monocultivo de maíz de acuerdo a los sistemas sembrados que se encontraron en la estación del año.

6.3.1.3 Análisis de resultados

No se realizó análisis estadístico para esta fase del experimento debido a que solamente se determinó si existía presencia de micorrizas nativas en las diferentes parcelas, se utilizó la formula expuesta por Giovanneti y Mosse (1980) para el porcentaje de infección micorrícica y el método para la cuantificación de esporas propuesta por Gerdemann y Nicolson (1963).

6.3.1.4 Variables de estudio

1. Cuantificación de esporas

Con el fin de realizar la cuantificación de esporas del suelo extraído de la rizosfera de los distintos cultivos que se realizó el muestreo en la sierra andina, y al final del ciclo de cultivo de frijol sembrado en suelo de cangahua en maceteras, se procesó el suelo de cada muestra, homogenizándolo y dejándolo secar a la sombra. De cada muestra se extrajo con sumo cuidado la mayor cantidad de raíces finas de aproximadamente 1 mm de ancho. Por otra parte, se recolecto 5 sub - muestras de 200g de suelo por parcela muestreada para formar una muestra compuesta de 1 kg por área de muestreo y para la tinción de raíces se obtuvieron 5 sub – muestras a 20 cm de profundidad de plantas con raíz para formar una muestra completa y extraer de cada planta distintos trozos de raíces para homogenizarlos con las demás raíces de la muestra**.**

El protocolo llevado a cabo para la extracción de esporas se utilizó el método desarrollado por (Gerdemann y Nicolson, 1963), sucedido por una centrifugación en un gradiente de sacarosa, que establece el siguiente procedimiento:

- Proceder a tomar una muestra de 100 gramos de suelo y pasar el suelo a través de un tamiz 4000 um para eliminar residuos (hojas, tallos, raíces, piedras, etc…).
- A partir de la muestra de 100g tamizada por el tamiz de 4000 um, se debe de tomar una muestra de 25 g de suelo y colocarla sobre un vaso de precipitado de 250 mL y llenarlo de agua hasta los 250 mL.
- Haciendo uso de un agitador magnético se procede a agitar la muestra de suelo en el vaso de precipitados por 1 hora a 600 rpm a temperatura ambiente.
- Una vez agitada la muestra se procede a pasar la muestra de suelo por tamices de 154 um, 54 um, 38 um y 25 um.
- Luego de este proceso los residuos obtenidos en los tamices de 154 um y 38 um fueron trasladados a tubos Falcón o tubos de centrifuga de 15 mL y se procedió a llenar el frasco con 10 ml del material tamizado.
- Se procede a centrifugar a las muestras a 3000 rpm por 3 minutos para separar las partículas de solidas de las liquidas y eliminar restos de materia orgánica de las esporas.
- Luego de centrifugados las muestras se procedieron a eliminar el sobrenadante y se incorporó una solución de sacarosa al 45% sin sobrepasar de los 10 ml para ser centrifugado nuevamente a 3000 rpm por 2 minutos. Se debe de observar una fase clara agua – sacarosa - suelo
- Una vez centrifugada las muestras se procedió a pasar el sobrenadante por un tamiz de 25 um y el residuo se colocó sobre una caja Petri para proceder con la identificación de las esporas.

2. Identificación taxonómica general de hongos micorrícicos arbusculares

Para la identificación de los géneros de los hongos micorrícicos arbusculares se llevó a cabo tomando en cuenta algunas características morfológicas como color, tamaño, numero de capas de la pared, presencia de hifa de unión y forma de la hifa de unión. Para esto, se utilizaron diferentes claves taxonómicas que existen actualmente para los HMA, esta identificación se fundamentó en la clasificación taxonómica descrita por el International Culture Collection of

Arbuscular & Vesicular- Arbuscular Mycorrhizal fungi (INVAM) y uso del International Bank for the Glomeromycota (IBG).

3. Determinación de los porcentajes de infección

Para determinar el porcentaje de infección en las raíces, se tomó una muestra de 0.6 a 0.8 g de raíces y se procedió a teñirlas por el método de Phillips y Hayman citado por Read, 1993, que establece el siguiente procedimiento:

- La muestra a utilizar de 0.6 gramos se colocó sobre un tubo falcón y se procedió a cubrir la muestra con una solución de KOH al 10%, y se dejaron las muestras en KOH al 10% por un día a temperatura ambiente, esto con el objetivo de decolorar las raíces de mejor manera.
- Luego de dejar las raíces en KOH al 10% por 1 día se procedió a eliminar la solución de KOH al 10% por otra nueva y se colocó la muestra por 1 hora a 90 C en baño maría.
- Luego se decantó la solución de KOH y se procedió a agregar peróxido de hidrogeno al 3% por 30 minutos a temperatura ambiente para mejorar la decoloración de raíces.
- Luego se decantó el peróxido de hidrógeno al 3% de las muestras y se procedió a acidificar las raíces con ácido clorhídrico al 3% y se dejaron por 25 minutos a temperatura ambiente.
- Posterior a esto, se eliminó el ácido clorhídrico y se procedió a teñir las raíces con una solución de azul de tripano al 0.05% con lactoglicerol en una relación 3:10 (v/v) por 1 hora a 90 °C en baño maría.
- Se lavaron las raíces en agua para eliminar el exceso de la solución de azul de tripano al 0.05% con lactoglicerol.
- De la muestra se tomaron distintas raíces al azar y se cortaron en segmentos de 1 cm – 2 cm y se colocaron sobre una placa Petri para calcular el porcentaje de infección a través del método de intersección de línea, este método basado en la técnica de Giovanneti y Mosse, 1980.
- A través de cada intersección con raicilla que presento porcentaje de infección se procedió a calcular el porcentaje de colonización micorrícica con la siguiente formula:

$$\%\,\boldsymbol{Infeccion}: \frac{\boldsymbol{Numero\ de\ intersecciones}}{\boldsymbol{No.de\ lineas\ horizontales + No.de\ lineas\ verticales}} * \mathbf{100}$$

6.4 Establecimiento del ensayo

Los ensayos con los distintos tratamientos se llevaron a cabo en el cultivo de frijol (***Phaseolus vulgaris L.***) variedad INIAP 484 – Centenario. Cada ensayo fue manejado de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del cultivo y fueron sembrados en maceteras de 3 kgs de capacidad, donde se sembraron 4 semillas por macetera.

6.5 Tratamientos

Los tratamientos estudiados en este experimento fueron los siguientes:

- Dynomyco: contiene ***Embudo mosseae*** **(antes *Glomus mosseae*) y *Rhizophagus irregularis*** con una concentración de 900 propágulos por gramo, los inoculantes micorrícicos DYNOMYCO mejoran la absorción de micro y macronutrientes. Esto se traduce en plantas más sanas y resistentes, de mayor calidad y mayores rendimientos.
- Plantonyx MycoBliss: contiene ***Embudo mosseae*** (antes ***Glomus mosseae***) y ***Rhizophagus irregularis***, ***Rh. aggregatus***, ***Rh. proliferum***, ***Rh. clarus*** y ***Claroideoglomus etunicatum*** (antes ***Glomus etunicatum***) con un concentración de 1000 propágulos/g, la mezcla de estos AM beneficia la absorción de nutrientes, aumento de masa vegetal, resistencia al estrés abiótico, mejora la estructura del suelo, mejor relación simbiótica y la reducción a la dependencia de fertilizantes.
- BioOrganics: contiene ***Rhizophagus irregularis***, ***Embudo mosseae*** (antes ***Glomus mosseae***), ***Claroideoglomus etunicatum*** (antes ***Glomus etunicatum***) y ***G. desertícola*** como endomicorrizas y ***Pisolithus tinctorius***, ***Scleroderma citrinum*** y ***Rhyzopogon luteolus*** como ectomicorrizas y algunas bacterias benéficas como ***Bacillus subtilis***, ***B. amyloliquefaciens***, ***B. lycheniformis***, ***B. megatarium*** y ***B. pumilus.*** Se garantiz a su funcionamiento en cualquier planta, incluidas las plantas no micorrícicas debido a sus especies de bacterias.

6.6 Obtención de suelo

Para la preparación del sustrato, consistió de muestras compuestas de suelo de Cangahua aflorante obtenidas a través de un diagrama en forma de zigzag, a una profundidad de 15 – 20 cms, para conformar una muestra total de 150 kg.

6.7 Preparación de suelo

Se procedió a eliminar los terrones comunes formados en este tipo de suelo y se tamizaron por tamices de 4000 um y un tamiz de 800 um para poder obtener estructura de suelo tanto gruesas como finas, así de esta manera se podrá tener un suelo similar a donde se desarrolla la cangahua e igual permite un mejor espacio poroso del suelo y evitar futuros problemas como anegamiento por agua o compactación del suelo. Posteriormente se procedió a esterilizar el suelo de cangahua en horno por 30 minutos a 110º C. Se utilizo una mezcla 3:1 de suelo y arena para favorecer el drenaje del agua en la macetera.

6.8 Preparación de las macetas

Para la preparación de las macetas, se colocó sobre la base de la macetera una lámina de papel agrícola junto a una malla de 50 um, luego se vertieron 400 g de arena encima del papel y la malla para luego proceder a llenar las maceteras hasta 2.60 kg. Luego de la inoculación se procedió a finalizar el llenado de maceteras hasta los 2.80 kg.

6.9 Desinfección de la semilla

Anterior a la siembra, se procedió a la desinfección de las semillas de frijol en una solución de hipoclorito de sodio durante 2 minutos y luego se lavaron las semillas con agua destilada para eliminar residuos de hipoclorito de sodio.

6.10 Fertilización

Para este experimento no se realizará fertilización en ninguna etapa debido a que se busca

observar el efecto de las micorrizas comerciales en el cultivo de frijol demostrando su mejora en la absorción de nutrientes disponibles en el suelo a utilizar como sustrato, el cultivo dependerá exclusivamente de los nutrientes presentes en el suelo y la atmosfera.

6.11 Inoculación

Se procedió a inocular las maceteras mezclando el inoculo comercial con el suelo a una profundidad de 4 cm. para procurar que los propágulos se diseminen por todo el suelo, esto en el momento de la siembra, se utilizaron las micorrizas comerciales de las marcas Dynomyco (900 propágulos/g), Mycobliss (1000 propágulos/g), y Bioorganics (120 propagulos/g). Cada producto contiene la recomendación de dosis por área o por planta, las dosis se calcularon de acuerdo a las recomendaciones establecidas por los productos y la cantidad de tierra en las maceteras.

Cuadro 6 Dosis utilizada de acuerdo a las especificaciones del producto comercial.

Producto Comercial	Dosis	Propágulos en total aplicados
Dynomyco	**30 g/ macetera**	**27,000 propágulos/ macetera**
Mycobliss	**18 g/ macetera**	**18,000 propágulos/ macetera**
Bioorganics	**15 g/ macetera**	**1,800 propágulos/ macetera**

6.12 Siembra

Para el momento de la siembra se utilizó la semilla de la variedad INIAP 484 – Centenario (***Phaseolus Vulgaris L.***) brindadas por uno de sus mejoradores el Ing. Eduardo Peralta, se colocaron 4 semillas por macetera a una profundidad de 4 cm. de suelo.

6.13 Riego

El riego utilizado fue a través de un sistema de riego por aspersión en base a la capacidad de campo de la planta y las condiciones presentes en el invernadero.

6.14 Variables evaluadas:

A los 45 y 60 días después de siembra:

- Altura de la planta (cm)
- Numero de hojas por planta
- Unidades SPAD (Eficiencia fisiológica del N)

A la cosecha (90 días después de siembra)

- Infección de raíces
- Numero de esporas/g de suelo
- Materia fresca aérea
- Materia fresca radicular
- Materia seca aérea
- Materia seca radicular
- Numero de vainas/planta
- Peso de las vainas
- Numero de granos/vaina

6.15 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizará un diseño completamente aleatorizado donde el factor de estudio son las micorrizas comerciales siendo 5 tratamientos con 4 repeticiones por tratamiento, donde el modelo estadístico seria $\boldsymbol{Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}}$**.,** $\boldsymbol{i}$**: 1, …,** $\boldsymbol{t}$ **y** $\boldsymbol{j}$**: 1, …**$\boldsymbol{r_1}$. Donde:

- Y_{ij}: Valor observado de la variable de respuesta (altura de planta, biomasa, rendimiento o concentración de clorofila) correspondiente al iii-ésimo tratamiento de micorrizas comerciales y la jjj-ésima repetición.
- μ: Media general del experimento.
- τ_i: Efecto del iii-ésimo tratamiento (tipo de micorriza comercial aplicada).
- ε_{ij}: Error aleatorio asociado al iii-ésimo tratamiento y la jjj-ésima repetición

Con:

- i=1,2,3,4,5 tratamientos (tipos de micorrizas comerciales),
- j=1,2,3,4 repeticiones por tratamiento.

6.16 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos y prueba de separación de medias de LSD Fisher, a un nivel de significancia del 0.05%. Se utilizó el programa INFOSTAT para realizar los análisis estadísticos.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Asociación de hongos micorrícicos arbusculares en maíz y frijol.

7.1.1 Identificación de géneros de micorrizas nativas

Se identificaron los siguientes géneros micorrizogenos: ***Glomus spp***., ***Archaespora spp.***, ***Acaulospora spp.***, ***Entrophospora spp***. y ***Scutellospora spp***. La identificación se realizó en base a las características morfológicas de los géneros micorrizogenos descritos en el muestrario del INVAM, 2025:

- ***Glomus spp***: Esporas blásticas o glomoides en hifa de sostén, solitarias o en esporocarpos la germinación es por hifa o pared esporal, poseen solamente una pared, con un número variable de capas (de 1 a 4 capas). Algunas vesículas pueden engrosar sus paredes y convertirse en esporas. Esporas glomoides, producidas en o cerca de la superficie del suelo, en esporocarpos, generalmente con peridio parcial o completo o como esporas solas o en grupos en el suelo o sustrato.
- ***Archaespora spp***: Esporas terminales o en ramificaciones de sáculo esporifero con una pared esporal de 3-4 capas, estas son especies dimórficas (acaulosporoides y glomoides). Todas las especies forman esporas que nacen lateralmente o dentro de las hifas que subtienden a un "sáculo esporífero".
- ***Acaulospora spp***: Esporas laterales al cuello de un sáculo esporífero (cicatriz visible), con hifas rectas o enrolladas. Germinación por estructura esférica flexible, la pared de la espora consiste de 3 capas. Se consideran esporas sin tallo.
- ***Entrophospora spp***: Esporas dentro del cuello del sáculo (dos cicatrices). La pared de la espora consiste de dos capas. Las esporas nacen del interior del cuello de un "sáculo esporífero" prediferenciado. Ontogénesis de las esporas y espejos de las paredes internas que se encuentran en las esporas de ***Acaulospora spp.***

- ***Scutellospora spp***: Esporas con o sin ornamentaciones. Las esporas consisten en una pared de esporas de dos capas y dos paredes internas flexibles de dos capas. Los tubos germinativos surgen de un escudo de germinación persistente, en forma de placa, que siempre está asociado con la pared flexible más interna.

7.1.2 Cuantificación de esporas

7.1.2.1 Zona centro - norte

A través de la identificación de los géneros de hongos se determinó que, independientemente de los sistemas de cultivo muestreados, no hubo variación de géneros, presentándose con mayor frecuencia el género ***Glomus spp***. en los sistema de siembra de monocultivo de frijol y asocio de maíz/frijol. En el sistema de monocultivo de frijol se presentó el mayor número de esporas con una totalidad de 16.38 esporas/gramo de suelo, el género de mayor prevalencia fue ***Glomus spp***. con 9.13 esporas/gramo, lo cual coincide con un estudio realizado en el cultivo de papa por Escalante (2004) en la zona norte, donde el mayor numero de esporas pertenecen al genero ***Glomus spp***. (5.0 esporas por gramo de suelo), de igual forma se alinea con un estudio anterior realizado en Santa Catalina, Canton Mejía, Pichincha, el cual se identificaron esporas del genero ***Glomus spp.*** como el mas dispersado en ciertas zonas frijoleras del país. Ademas de ***Glomus spp.***, se identificaron otros generos en menor medida, estos fueron ***Acaulospora spp.*** (1 espora/gramo), ***Archaespora spp.*** (2.5 esporas/gramo) y ***Entrophospora spp.*** (0.5 esporas/gramo). El menor numero de esporas se observo en el asocio de maiz/frijol con una totalidad de 10.7 esporas/ gramos de suelo.

Cuadro 7 Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de frijol en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona norte. Pichincha - Norte, 2025.

	Sistema de cultivo	
Géneros	**Frijol monocultivo**	**Asocio maíz/frijol**
Glomus spp.	9.13	4.5
Acaulospora spp.	1	5
Archaespora spp.	2.5	0.5
***Entrophospora* spp.**	0.5	0.2
Scutellospora spp.	0	0.5

No identificadas	3.25	0
Total	16.38	10.7

7.1.2.2 Zona centro

En la zona centro no hubo variaciones destacables entre el número de esporas en los sistemas de cultivo muestreados, no obstante, el sistema de monocultivo de maíz presenta el mayor número de esporas con un total de 12.8 esporas/gramo de suelo, la menor cantidad de esporas se presentaron en el sistema de cultivo asocio maíz/frijol con un total de 8.4 esporas/ gramos de suelo. Así mismo como en la zona norte, sin importar el sistema de cultivo, se observó mayor cantidad esporas del género ***Glomus spp.*** con un total de 6 esporas/gramos de suelo en el sistema de monocultivo de maíz. Adicionalmente el segundo genero más prevaleciente fue de ***Acaulospora spp.*** con un total de 1.4 esporas/gramo de suelo en el sistema de monocultivo de maíz.

Cuadro 8. Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de maíz en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona centro. Cotopaxi, 2025.

	Sistema de cultivo	
Géneros	**Maíz monocultivo**	**Asocio maíz/frijol**
Glomus spp.	6	4
Acaulospora spp.	1.4	0.6
Archaespora spp.	0.8	0.2
Entrophospora spp.	0.8	0
Scutellospora spp.	0.6	0.2
No identificadas	3.2	3.4
Total	12.8	8.4

7.1.2.3 Zona centro – sur

En la zona centro - sur hubo diferencias entre el número de esporas y los géneros encontrados entre los sistemas de monocultivo de maíz, asocio maíz/frijol con el monocultivo de frijol, presentándose el mayor número de esporas en el monocultivo de maíz con un total de 12.6 esporas/gramo de suelo, el sistema con menor cantidad de esporas fue el monocultivo de frijol con un total de 5 esporas/gramo de suelo. Al igual que en la zona centro y centro – norte el género que más

prevaleció fue ***Glomus spp***., lo cual coincide con la investigación realizada por Ilbay (2022) donde el genero ***Glomus spp***. fue el mas prevaleciente en las zonas de los paramos, lo cual estan ubicados a 3500 - 3600 msnm siendo de los géneros que mejor asociacion simbiotica establece con las plantas, detallando asi que tiene muy baja especificidad hacia algun cultivo en general. Otro de los generos presentes en menor proporcion fueron ***Acaulospora spp.*** (1 espora/gramo de suelo), ***Archaespora spp.*** (0.8 esporas/gramo de suelo), ***Entrophospora spp.*** (0.4 esporas/gramo de suelo), y ***Scutellospora spp.*** (0.8 esporas/gramo de suelo).

Cuadro 9. Numero de esporas por gramo de suelo entre los sistema de siembra de frijol en monocultivo y asocio de maíz/frijol en la zona centro – sur. Chimborazo, 2025.

	Sistema de cultivo		
Géneros	**Maíz monocultivo**	**Asocio maíz/frijol**	**Frijol monocultivo**
Glomus spp.	5.8	3.3	1.5
Acaulospora spp.	1	0.3	0
Archaespora spp.	0.8	0.0	0
Entrophospora spp.	0.4	0.0	0
Scutellospora spp.	0.8	0.3	0
No identificadas	3.8	4.7	3.5
Total	12.6	8.7	5

En el estudio realizado por Ilbay (2022) expone acerca de que existe una fuerte correlacion entre el contenido de materia organica y la presencia de esporas del genero ***Glomus spp.*** y Acaulospora, tomando en cuenta que la mayoria de las zonas donde se realizaron los muestreos presentaban media – alta presencia de materia organica se puede decir que debido a eso se encontraron en mayor proporcion los generos ***Glomus spp.*** y ***Acaulospora spp.***

Se puede observar que en la zona centro – sur el monocultivo de frijol presenta el menor número de esporas comparado con el monocultivo de frijol, esto se puede deber a que, aunque haya alta presencia de materia orgánica y no se realicen prácticas las cuales degeneren los suelos, alrededor de las parcelas habían sistemas de cultivo de maíz, habas o chochos los cuales son tratados de manera convencional con alto uso de agroquímicos, lo cual podría coincidir con lo expuesto por

Forero et al (1999), donde la produccion de esporas y la colonizacion micorricica puede verse afectada de manera negativa por el uso excesivo de fertilizantes sinteticos y pesticidas, generalmente no se puede decir que los fertilizantes inhiben la colonización, pero desde el punto fisiologico de la planta, al tener los nutrientes necesarios en el suelo, puede verse reducido el porcentaje de infeccion por parte del hongo con la planta. Por otra parte, en los sistema de monocultivo de maiz y asocio de maiz/frijol hay mayor cantidad de esporas, esto se debe a que ciertas zonas donde se realizaron los muestreos tienen muy poca accesibilidad a agroinsumos y son campesinos que aprovechan los recursos organicos (bovinaza, gallinaza, cerdaza, compost, residuos de materia organica de la cosecha anterior) para producir, entonces sus cultivos tienen baja exposicion a los agroquimicos.

De igual forma, en las zonas donde se realizo la prospeccion de micorrizas nativas se puede observar que en los sistemas de cultivo de asocio maiz / frijol hubo presencia de esporas, se ha demostrado a que realizan simbiosis con las bacterias fijadoras de nitrogenos del genero ***Rhizobium spp.*** y ***Frankia spp.*** mejorando su efectividad (Forero et al., 1999).

7.1.3 Porcentaje de infección de hongos micorrícicos arbusculares.

En base a los datos que se registran en el Cuadro 10, se evidencia que, en la zona Norte, el mayor porcentaje de infección correspondió al monocultivo de frijol con 16.91% (57.69% - 4.73%). Por otra parte, el sistema de cultivo de asocio maíz/frijol se encuentra cercano al porcentaje de infección con el monocultivo de frijol presentando un porcentaje de infección de 12.70% (13.33% - 12.07%).

En la zona centro – sur el mayor porcentaje de infección fue para el sistema de cultivo asocio maíz/frijol con 29.60% (48.00% – 18.00%), mientras que, el menor valor se presentó en el sistema de monocultivo de frijol con 15.10% (22.2% - 8.00%). El sistema monocultivo de maíz no vario mucho en cuanto al porcentaje de infección con el asocio maíz/frijol, evidenciando un porcentaje de infección de 26.77%.

En la zona centro el mayor porcentaje de infección lo presento el sistema de cultivo monocultivo de maíz con 16.31% (19.23% - 11.11%), mientras que el asocio maíz/frijol presento valores

similares con 15.60% (24.00% - 7.14%).

En las tres zonas, podemos observar que los porcentajes de infección no sobrepasan valores superiores a 30%, esto posiblemente se deba a que en las tres zonas que se llevaron a cabo los muestreos, se puede observar que las cantidades de nutrientes especialmente de nitrógeno y fosforo son medio – altos, y como explica Mora & Leblanc (2012) en la investigacion realizada acerca de incoulacion de micorrizas comerciales con distintas dosis de fertilizantes fosfatados, expone acerca como altas dosis de fertilizacion reducen la simbiosis entre hongo-planta debido a que las micorrizas son una alternativa para mejorar los rendimientos productivos en suelos pobres o degradados. De igual manera, en el Anexo 4,5 y 6 se pueden observar las caracteristicas quimicas de las parcelas muestreadas, las cuales se observa que la mayoria de parcelas tienen valores de pH alcalinos o neutros, lo cual en una investigacion realizada por Herrera (2024) indica que los hongos micorricicos arbusculares se encuentran en suelos con pH alcalinos, mientras que las ectomicorrizas y orquideomicorrizas resultan ser mas efectivas en suelos acidos, por lo cual los hongos micorricicos arbusculares cumplen funciones como ajustar los valores de pH en los suelos. De igual forma cabe destacar que los asocios de maiz/frijol que fueron muestreados en la zona centro – sur presentaban a su alrededor especies gramineas las cuales según Forero et al. (1999) expone que las gramineas son las que mejor se asocian con las micorrizas.

Cuadro 10. Porcentajes de infeccion de micorrizas arbusculares en distintos sistemas de cultivo en la zona norte, centro – sur y centro de la Sierra de Ecuador.

Zonas	Sistema de cultivo	Porcentaje promedio de infección (%)	Valor máximo	Valor mínimo
Norte	**Asocio maíz / frijol**	12.70%	13.33%	12.07%
	Monocultivo frijol	16.91%	57.69%	4.73%
Centro - sur	**Monocultivo maíz**	26.77%	46.67%	7.69%
	Asocio maíz / frijol	29.60%	48.00%	18%
	Monocultivo frijol	15.10%	22.2	8%
Centro	**Monocultivo maíz**	16.31%	19.23%	11.11%
	Asocio maíz / frijol	15.60%	24.00%	7.14%

7.2 Eficiencia de micorrizas comerciales en variables morfofisiologías

7.2.1 Altura de planta a los 45 y 60 dds

Las plantas evaluadas a los 45 dds (días después de siembra) mostraron diferencia significativa entre tratamientos (ver figura 1). El mayor crecimiento mostrado por las plantas fue para el tratamiento con suelo de cangahua sin esterilizar (35.79 cm), mientras que el crecimiento más bajo lo mostro el tratamiento de micorriza comercial Bioorganics + SE (23.00 cm) y el suelo esterilizado (27.97 cm); el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 31.13 cm. La evaluación de las plantas a los 60 dds no mostro ninguna diferencia significativa en su crecimiento, el promedio del tamaño de las plantas fue de 35.21 cm.

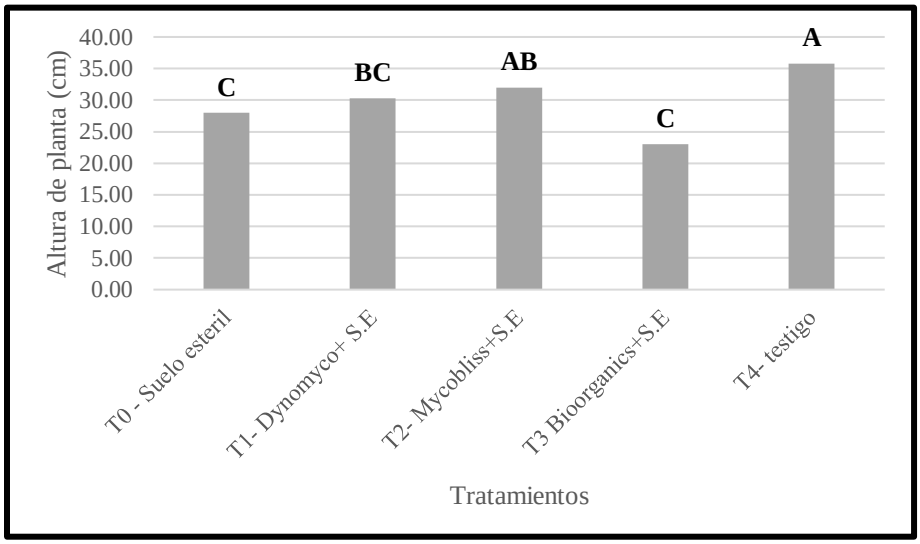


Figura 1. Altura de planta de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol evaluado a los 45 dds. (dds = días después de siembra)

Altura de planta 45 dds

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Altura de planta 45 dds	20	0.61	0.51	8.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	145.14	4	36.28	5.94	0.0045
Tratamientos	145.14	4	36.28	5.94	0.0045
Error	91.58	15	6.11		
Total	236.71	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.72402

Error: 6.1053 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T4- Suelo	34.23	4	1.24	A		
T2- Mycobliss+S.E	32.00	4	1.24	A	B	
T1- Dynomyco+ S.E	30.27	4	1.24		B	C
T0 - Suelo esteril	27.97	4	1.24			C
T3 Bioorganics+S.E	26.76	4	1.24			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 2. Análisis de varianza para altura de planta evaluada a los 45 dds en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025.

Bowen (1983) expone que existen algunos casos con correlación positiva entre la extensión intrarradical de los HMA y la respuesta que transmite la planta, sin embargo, esto puede variar de acuerdo a la características fisiológicas y genéticas de la planta, entonces los endófitos no deben ser más efectivos siempre. En un estudio realizado por (Rodriguez & Ortuño, 2007) expone como las micorrizas al tener presencia de medios a altos contenidos de materia organica presentan mejor longitud de la parte aerea de la planta, algo que el sustrato (suelo de cangahua) en el cual se establecio el experimento carece, presentando un contenido de 0.11% de M.O.

7.2.2 Numero de hojas trifoliadas por planta a los 45 y 60 días

Las plantas evaluadas a los 45 dds (días después de siembra) no mostraron diferencia significativa entre tratamientos (ver figura 3). La evaluación de las plantas a los 60 dds mostro diferencia significativa en su crecimiento, el mayor No. de hojas trifoliadas mostrado por las plantas fue para el tratamiento Mycobliss (4.5), mientras que el crecimiento más bajo lo mostro el tratamiento de micorriza comercial Dynomyco (3.1); el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 3.45 cm.

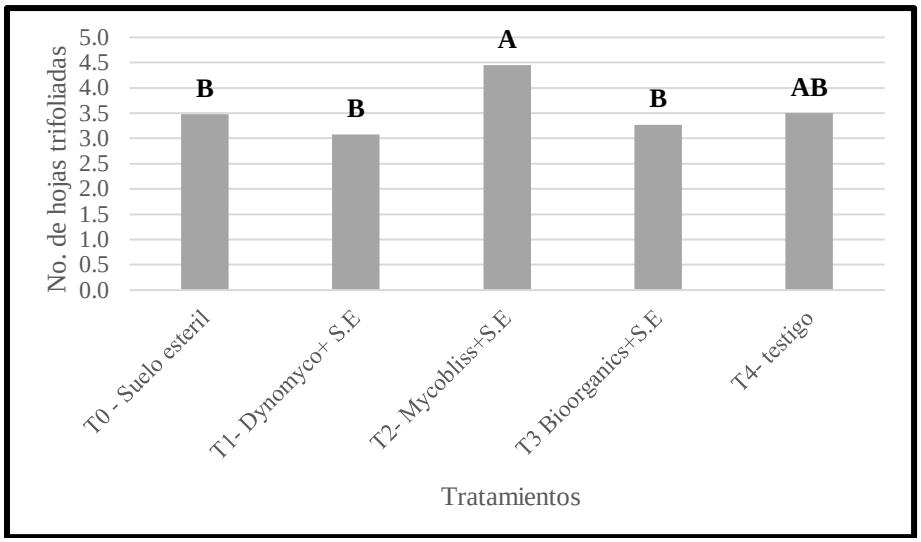


Figura 3. Numero de hojas trifoliadas de los tratamientos en el cultivo de frijol evaluado a los 60 dds. (dds = días después de siembra)

No. hojas trifoliadas 60 dds

Variable	N	R²	R² Aj	CV
No. hojas trifoliadas 60 d..	20	0.46	0.31	16.58

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.45	4	1.11	3.16	0.0452
Tratamientos	4.45	4	1.11	3.16	0.0452
Error	5.27	15	0.35		
Total	9.72	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.89356

Error: 0.3515 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T2- Mycobliss+S.E	4.45	4	0.30	A	
T4- Suelo	3.58	4	0.30	A	B
T0 - Suelo esteril	3.50	4	0.30		B
T3 Bioorganics+S.E	3.28	4	0.30		B
T1- Dynomyco+ S.E	3.08	4	0.30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 4. Análisis de varianza para el No. de hojas trifoliadas a los 60 dds en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025.

En una investigación realizada por Gonzalez et al. (2012) sobre el efecto de la inoculacion con ***Rhizobium spp***. y micorrizas, exponen que esta asociacion entre microorganismos pueden aumentar el numero de hojas trifoliadas, donde el mayor numero de hojas trifoliadas se presentaron en plantas incouladas con ***Rhizobium spp.***, micorrizas y ***Rhizobium spp.*** + Micorrizas a diferencia

del testigo. En este caso, el testigo-T4 (suelo sin esterilizar) y el suelo estéril-T0 no presentaron bajo número de hojas trifoliadas, posiblemente se deba a que en las raíces se encontraron nódulos de ***Rhizobium spp***., de esta manera se puede suponer que ocurrió fijación biológica de N y por eso los tratamientos sin inocular presentaron valores similares a los inoculados.

7.2.3 Unidades SPAD (Eficiencia fisiológica del N)

La dinámica de las unidades SPAD para las hojas del frijol, se presentan en la figura 5. Se puede apreciar que hubo fluctuaciones irregulares en el contenido de clorofila en el transcurso del tiempo. Se puede observar que a los 20 dds hubo diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el tratamiento Mycobliss + SE con el mayor contenido de unidades SPAD (40.275), mientras que las unidades SPAD más bajo lo mostro el tratamiento Dynomyco + SE (34.375), el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 35.77. En el transcurso del tiempo se puede apreciar que se observó un comportamiento ascendente de 20 a los 40 días, siendo esta última fecha donde se logró la máxima expresión de las unidades SPAD.

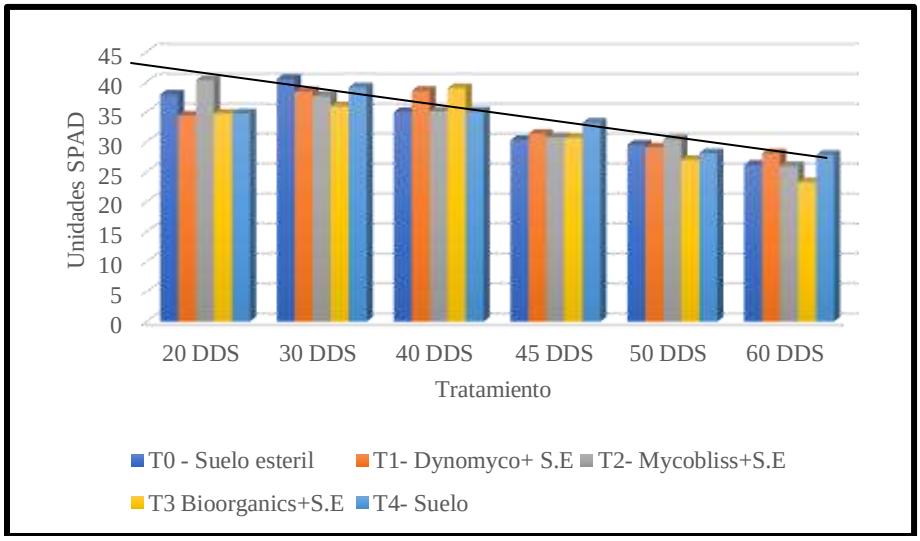


Figura 5. Unidades SPAD evaluadas a los 20, 30, 40, 45, 50 y 60 dds en el cultivo de frijol. (dds = días después de siembra)

En base a estos resultados, se deduce que posiblemente los tratamientos Dynomyco y Bioorganics presentan una tasa de colonización o establecimiento más lenta en comparación con el tratamiento Mycobliss el cual presento en el transcurso del tiempo efectos positivos sobre las unidades SPAD,

posiblemente, de igual forma, estos inóculos comerciales probablemente tengan una baja compatibilidad con la variedad de frijol utilizada. Incluso otros factores como efecto borde de las plantas pudieron afectar la fotosíntesis de las plantas. Por otra parte, los tratamientos testigos, es decir sin inocular, probablemente no tuvieron fluctuaciones en las Unidades SPAD, por eso mostraron valores homogéneos en el transcurso del tiempo.

7.2.4 Materia fresca aérea

Las plantas evaluadas a la cosecha no mostraron diferencia significativa en peso de materia fresca aérea, se obtuvo un promedio de 16.18 gramos de materia fresca aérea en los tratamientos.

7.2.5 Materia fresca radicular

Las plantas evaluadas a la cosecha no mostraron diferencia significativa en el peso de la materia fresca radicular, se obtuvo un promedio de 11.61 gramos de biomasa radicular en los tratamientos.

Así como en materia fresca aérea, no hubo diferencia significativa entre tratamientos ($p > 0.05$), aunque las micorrizas comerciales mostraron valores mínimamente mayores, esto supone a ciertas investigaciones las cuales explican como las micorrizas pueden aumentar el contenido de materia fresca, de igual forma, muchas veces necesitan de suelos que no estén completamente degradados y que presenten ciertos niveles de fosforo y materia orgánica para que su efectividad en la planta se vea reflejada, de igual forma, es importante entender que al ser cepas aisladas de suelos de Estados Unidos, muy distintos a los suelos de cangahua, su adaptación a los suelos puede verse afectada y por tanto de igual manera el contenido en materia fresa aérea y radicular.

7.2.6 Materia seca parte aérea

Las plantas evaluadas a la cosecha mostraron diferencia significativa en el peso de materia seca aérea (ver figura 6). El tratamiento que presento el mayor contenido de materia fresca aérea fue Bioorganics con 11.76 gramos, mientras que el tratamiento suelo estéril presento el menor contenido de materia fresca aérea con 6.59 gramos; el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 8.88 gramos.

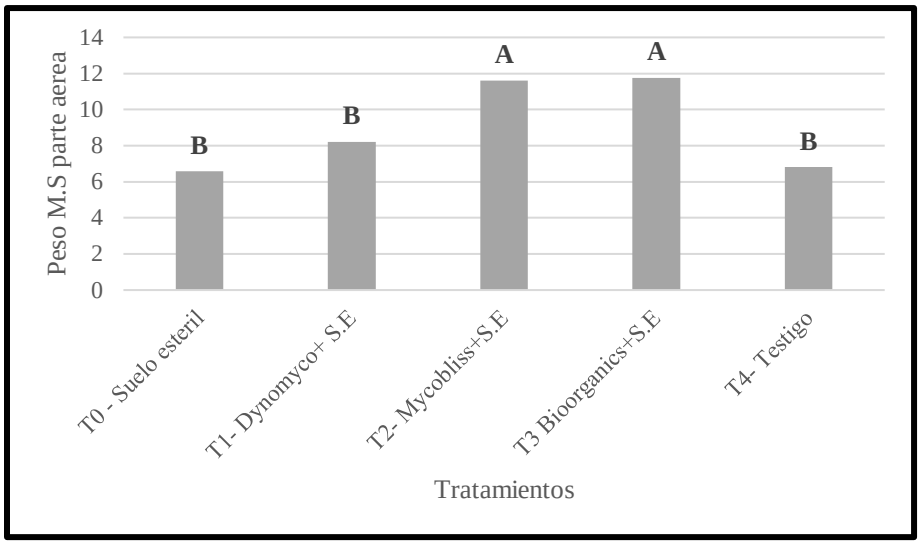


Figura 6. Peso de M.S aérea (follaje y tallos) evaluados al momento de la cosecha del cultivo de frijol.

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso M.S aerea	20	0.64	0.54	21.94

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	102.60	4	25.65	6.58	0.0029
Tratamientos	102.60	4	25.65	6.58	0.0029
Error	58.46	15	3.90		
Total	161.07	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.97548

Error: 3.8976 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
T3 Bioorganics+S.E	11.76	4	0.99	A	
T2- Mycobliss+S.E	11.61	4	0.99	A	
T1- Dynomyco+ S.E	8.22	4	0.99		B
T4- Suelo	6.81	4	0.99		B
T0 - Suelo esteril	6.59	4	0.99		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 7. Peso de M.S aérea (follaje y tallos) evaluados al momento de la cosecha del cultivo de frijol.

Se puede observar que los tratamientos micorrizados presentaron mayor cantidad de materia seca lo cual esto coincide con lo expuesto por Forero, Chaves, & Unigarro (1999) que indican que las micorrizas aumentan el contenido de materia seca de la planta, tambien se encontro que las estrutucturas de las micorrizas (vesículas, hifas, arbusculos y células auxiliares) suponen del 10 - 17% del peso radicular.

7.2.7 Materia seca radicular

Las plantas evaluadas a la cosecha no mostraron diferencia significativa en el peso de la materia seca radicular. El tratamiento que presento el mayor contenido de peso radicular fue Dynomyco con 14.61 gramos, mientras que el tratamiento Bioorganics presento el menor peso seco radicular con 5.82 gramos.

7.2.8 No. de vainas / planta

Las plantas evaluadas en la cosecha mostraron diferencia significativa en el número de vainas por planta (ver figura 8). El mayor número de vainas mostrado por las plantas fue para el tratamiento con micorriza comercial Mycobliss (2.00), mientras que el número de vainas por planta más bajo lo mostro el tratamiento de suelo estéril (0.93); el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 1.42 vainas por planta.

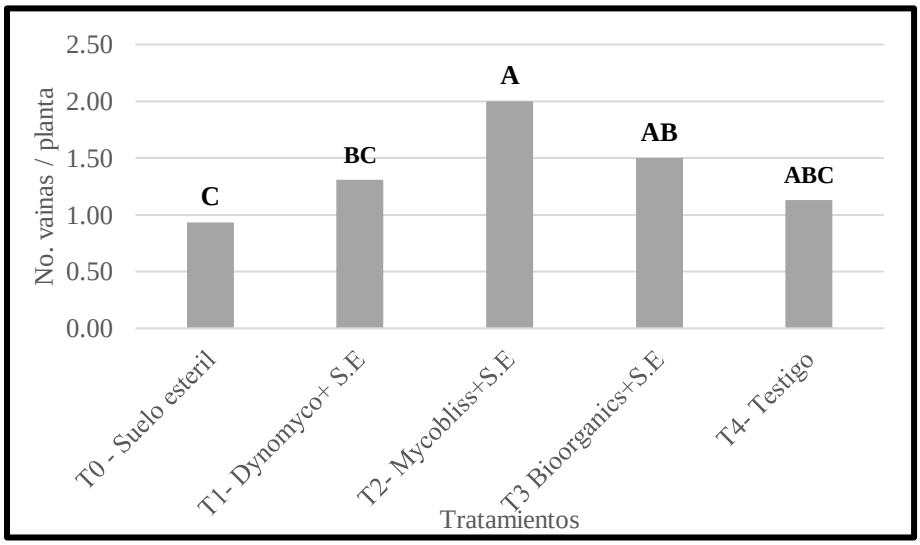


Figura 8. No. de vainas/planta evaluada al momento de la cosecha en el cultivo de frijol.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
No. vainas/plantal	20	0.48	0.34	29.15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.45	4	0.61	3.47	0.0338
Tratamientos	2.45	4	0.61	3.47	0.0338
Error	2.64	15	0.18		
Total	5.09	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.63286

Error: 0.1763 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T2- Mycobliss+S.E	2.00	4	0.21	A		
T3 Bioorganics+S.E	1.58	4	0.21	A	B	
T4- Suelo	1.38	4	0.21	A	B	C
T1- Dynomyco+ S.E	1.31	4	0.21		B	C
T0 - Suelo esteril	0.93	4	0.21			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 9. Análisis de varianza para No. de vainas / planta durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025.

Se observo diferencia estadística entre tratamientos ($p< 0.05$), principalmente en los dos inóculos comerciales (Mycobliss y Bioorganics), en este caso la micorriza comercial Dynomyco estuvo en rangos similares junto a el testigo y al tratamiento Bioorganics, en este caso, se podría decir que las cepas actuaron de mejor manera en la fase reproductiva del cultivo presentando valores más altos, tomando en cuenta que según las características de la variedad de frijol (***Phaseolus vulgaris. L***) INIAP 484 – Centenario es capaz de producir de 8 a 23 vainas por planta en condiciones de suelo moderadamente fértiles, en este caso no se alcanzó a obtener más de 2 vainas por planta que se formaran de manera correcta, ya que al principio de la floración se observaron múltiples vainas pero en el transcurso del tiempo se convirtieron en vainas vanas, debido a que el suelo del experimento es bajo en N, se podría decir que la planta utilizo todo el N disponible para translocarlas hacia las vainas que presentaron un desarrollo vigoroso.

7.2.7 Peso de las vainas

Las plantas evaluadas a la cosecha mostraron diferencia significativa entre tratamientos (ver figura 10). El mayor peso de las vainas mostrado por las plantas fue para el tratamiento Mycobliss (4.90 gramos), mientras que el peso más bajo lo mostro el tratamiento de micorriza comercial Dynomyco (2.88 gramos); el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio

general de 4.08 gramos.

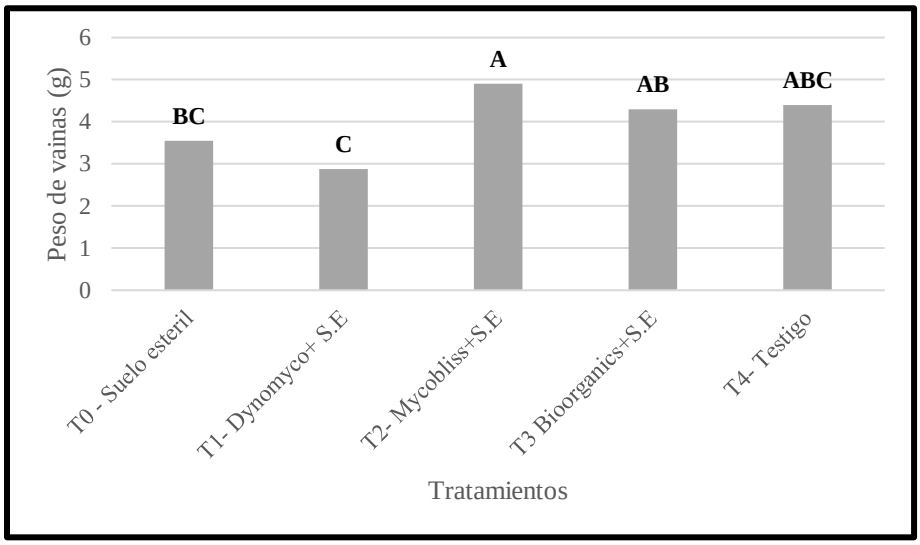


Figura 10. Peso de vainas/planta evaluadas en la cosecha en el cultivo de frijol.

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso de vainas gramos	20	0.49	0.35	21.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10.70	4	2.68	3.57	0.0309
Tratamientos	10.70	4	2.68	3.57	0.0309
Error	11.25	15	0.75		
Total	21.95	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.30510

Error: 0.7498 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T2- Mycobliss+S.E	4.90	4	0.43	A		
T3 Bioorganics+S.E	4.63	4	0.43	A	B	
T4- Suelo	3.93	4	0.43	A	B	C
T0 - Suelo esteril	3.55	4	0.43		B	C
T1- Dynomyco+ S.E	2.88	4	0.43			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 11. Análisis de varianza para peso de vainas / planta durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025.

Como se observa en la Figura 11, los inóculos comerciales Mycobliss y Bioorganics presentaron en mayor peso en las vainas en comparación con el tratamiento comercial Dynomyco el cual presento el peso más bajo, posiblemente alguna de las cepas que contiene el inoculo no sea muy efectiva en la planta por lo cual no mostro un buen resultado en el peso de las vainas. Por otra parte, los tratamientos sin inocular presentaron mayor peso que el Dynomyco, esto se puede atribuir

posiblemente en la variedad utilizada, la cual ha sido mejorada genéticamente mediante hibridación, adaptándose a condiciones edáficas pobres permitiendo desarrollarse no de la mejor manera, pero sin embargo mostrando resultados.

En una investigación realizada por Triana, (2015) aplicando micorrizas comerciales con cepas de la familia ***Glomeraceae*** sobre el cultivo de arveja (***Pisum sativum L.***) se encontro diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos, en este caso el testigo se comporto de una manera homogenea en comparacion con los tratamientos inoculados con micorrizas.

7.2.8 Numero de granos / vaina

Las plantas evaluadas a la cosecha mostraron diferencia significativa entre tratamientos (ver figura 12). El mayor número de granos por vaina mostrado por las plantas fue para el tratamiento Bioorganics (2.33 granos) el cual contiene una mezcla de endomicorrizas, ectomicorrizas y bacterias benéficas, mientras que el más bajo lo mostro el tratamiento suelo no esterilizado con 1.75 granos por vaina; el resto de los tratamientos no mostraron diferencia, donde se obtuvo un promedio general de 2.30 granos por vaina.

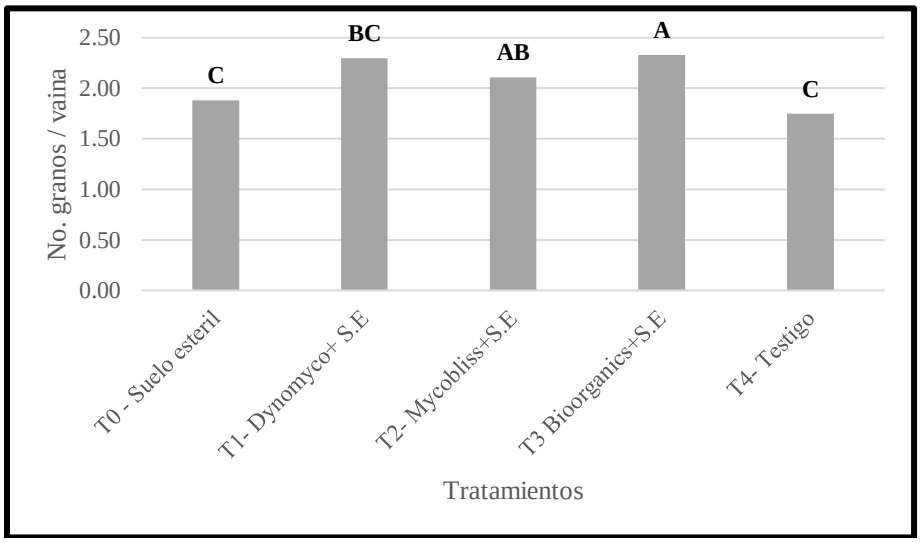


Figura 12. No. de granos/vaina evaluadas en la cosecha en el cultivo de frijol.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
No. granos / vaina	20	0.53	0.40	13.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.29	4	0.32	4.15	0.0185
Tratamientos	1.29	4	0.32	4.15	0.0185
Error	1.16	15	0.08		
Total	2.45	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.41956

Error: 0.0775 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T3 Bioorganics+S.E	2.53	4	0.14	A		
T2- Mycobliss+S.E	2.30	4	0.14	A	B	
T1- Dynomyco+ S.E	2.11	4	0.14		B	C
T4- Suelo	1.88	4	0.14			C
T0 - Suelo esteril	1.88	4	0.14			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 13. Análisis de varianza para las variables analizadas durante la cosecha en el cultivo de frijol. Quito, Ecuador, 2025.

Se puede observar que en este caso los inóculos comerciales presentaron mayor cantidad de granos por vaina, con esto se comprueba la hipótesis que los tratamientos comerciales si tienen un efecto sobre el rendimiento en el cultivo de frijol, no presento un alto número de granos por vaina como expone la ficha técnica que el cultivo debería mostrar (7 a 14 granos), sin embargo el efecto fue significativo para el tipo de sustrato que se utilizó tomando en cuenta que no tiene alta cantidad de macronutrientes los cuales son los principales nutrientes que las micorrizas aprovechan para brindar a la planta, fisiológicamente, si la planta no puede absorber suficiente cantidad de nutrientes del suelo, los hongos micorrícicos arbusculares actúan de la misma manera, al haber muy poca disponibilidad de nutrientes y materia orgánica no pueden generarle un beneficio eficiente a la planta.

7.2.9 Porcentaje de infección radical de micorrizas comerciales

Los tratamientos mostraron diferencia significativa en el porcentaje de infección en raíces (ver figura 14), siendo el tratamiento Bioorgaanics con el mayor porcentaje de infección (52.33%), seguido de Mycobliss (49.27%) y siendo el menor infectado el tratamiento Dynomyco (28.15%), tomando en cuenta que los tres inóculos comerciales contenían géneros pertenecientes a la familia

Glomeraceae, no se conoce las características edafoclimáticas de donde se obtuvieron los inóculos ni los hospederos de los cuales estaban presente, en este caso se puede suponer que el tratamiento Dynomyco tiene una menor capacidad de infectar las raíces debiéndose esto a factores externos del hongo como las especificidad de la planta por ejemplo, o las condiciones edáficas donde se extrajo los propágulos son distintas a el suelo en el cual se inoculo. Los tratamientos testigo y suelo estéril no presentaron ninguna presencia de microorganismos lo cual era lo esperado.

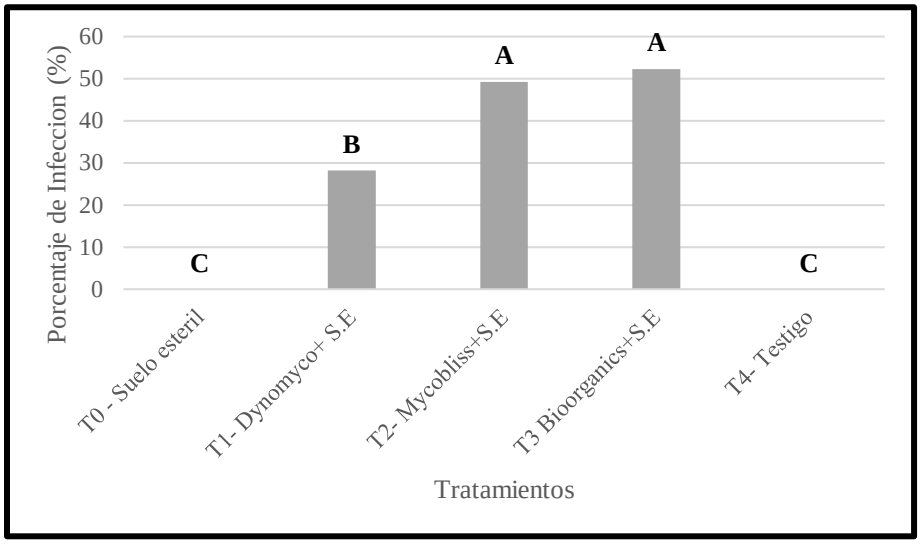


Figura 14. Porcentaje de infección de inóculos comerciales en raíces del cultivo de frijol.

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Porcentaje de infeccion	20	0.84	0.80	44.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10363.98	4	2591.00	19.60	<0.0001
Tratamientos	10363.98	4	2591.00	19.60	<0.0001
Error	1982.84	15	132.19		
Total	12346.82	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=17.32837

Error: 132.1890 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
T3 Bioorganics+S.E	52.33	4	5.75	A		
T2- Mycobliss+S.E	49.27	4	5.75	A		
T1- Dynomyco+ S.E	28.15	4	5.75		B	
T4- Suelo	0.00	4	5.75			C
T0 - Suelo esteril	0.00	4	5.75			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 15. Análisis de varianza para porcentaje de infección de inóculos comerciales en raíces del cultivo de frijol.

7.2.10 Numero de esporas por gramo de suelo

Los tratamientos mostraron diferencia significativa entre tratamientos (ver figura 16.), siendo el tratamiento Mycobliss con el mayor No. de esporas / g de suelo (6.75) seguido de Bioorganics (5.25) y siendo el menor Dynomyco (2.25), se debe tomar en consideración que los productos comerciales especifican la cantidad de propágulos/ gramo que contienen, pero al ser propágulos quiere decir que el inoculo fue aislado de esporas, raicillas y suelo por lo cual no se encuentran muchas esporas.

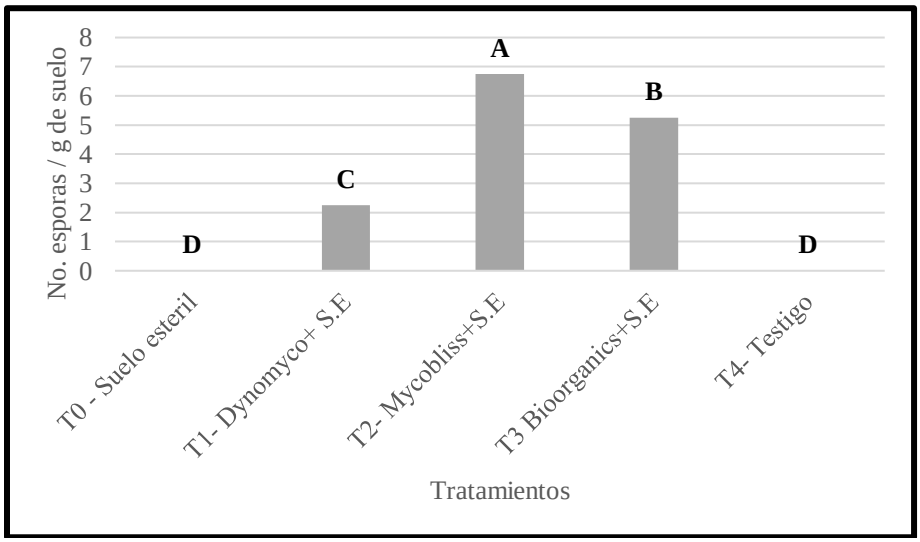


Figura 16. No. de esporas por gramo de suelo encontrados al momento de la cosecha en el sustrato de cangahua.

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Esporas en suelo	20	0.92	0.90	31.71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	150.30	4	37.58	46.01	<0.0001
Tratamientos	150.30	4	37.58	46.01	<0.0001
Error	12.25	15	0.82		
Total	162.55	19			

Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.36202

Error: 0.8167 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.				
T2- Mycobliss+S.E	6.75	4	0.45	A			
T3 Bioorganics+S.E	5.25	4	0.45		B		
T1- Dynomyco+ S.E	2.25	4	0.45			C	
T4- Suelo	0.00	4	0.45				D
T0 - Suelo esteril	0.00	4	0.45				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Figura 17. Análisis de varianza para No. de esporas por gramo de suelo en el cultivo de frijol.

Similar al porcentaje de infección, los tratamientos comerciales Mycobliss y Bioorganics fueron los que presentaron mayor numero en comparación con el tratamiento Dynomyco, de igual forma cabe destacar que los tratamientos presentaron mayor incidencia de hifas, vesículas y algunas esporas de ***Rhizophagus irregularis***, siendo este género de los únicos junto a algunos de ***Glomus spp***. los cuales forman esporas dentro de las raíces, el género que se encontró con mayor incidencia fue ***Funneliformis mosseae***, el cual es uno de los géneros con más predominancia en condiciones de suelos alcalinos. Los tratamientos testigo y suelo estéril no presentaron presencia de ningún microorganismo.

VIII. DISCUSIÓN

El experimento llevado a cabo confirma la convivencia existente entre los HMA y las leguminosas la cual, según Forero et al., (1999), expone que la mayoria de leguminosas se asocian eficientemente con los HMA respondiendo favorablemente a la infeccion.

En base a estos resultados, indican que las micorrizas comerciales suponen un efecto significativo sobre todas las variables de crecimiento y rendimientos, lo cual en otra investigacion realizada por (Triana, 2015) sobre arveja los productos comerciales suponieron un efecto significativo en todas las variables de crecimiento analizadas como altura de planta, o la realizada por (Chauca, 2002) donde los inoculos comerciales actuaron distinto al testigo en variables como biomasa radicular, altura de planta o No. de vainas por planta.

En cuanto a las variables medidas en la cosecha (peso fresco raíz, peso fresco parte aérea, No. de vainas, peso de las vainas, No. de granos por vaina, porcentaje de infección) se obtuvo resultados positivos o neutros para los productos comerciales a excepción de Dynomyco el cual fue el producto comercial con menor porcentaje de infección, esto coincide con otra investigación de Galindo (2008) donde al utilizar micorrizas comerciales en el cultivo de frijol en obtuvo altos rendimientos en la producción de numero de vainas por planta.

Aunque las micorrizas comerciales si mostraron efectos significativos en variables de crecimiento y producción, no son los rendimientos los cuales establece el cultivo que puede brindar, se debe de tomar en cuenta que el sustrato en el cual se realizó el experimento es un sustrato pobre en los principales nutrientes que necesita la planta (N y P) y con textura franco arenosa lo cual esto se traduce en poca retención de nutrientes, las micorrizas ayudan a la planta a obtener nutrientes pero al no haber suficientes nutrientes disponibles esto reduce la acción de las micorrizas, por lo cual la importancia de que aunque sean suelos pobres siempre deben de tener niveles mínimos de

nutrientes debido a que no son fertilizantes como tal, sino que gracias a la extensión de hifas extrarradicales absorbe de manera eficiente los nutrientes. Con esto se describe la importancia de que en los suelos exista un porcentaje de M.O moderado y otros microorganismos lo cual faciliten la mineralización de estos nutrientes así lo HMA los puede translocar a la planta de manera más eficiente y obtener mejores rendimientos maximizando así el uso de fertilizantes.

Por otra parte, al principio de la floración las plantas presentaron mayor número de flores, sin embargo en el transcurso del tiempo las plantas presentaron abortos florales sin variar entre las micorrizadas y no micorrizadas, esto se deba posiblemente a la baja cantidad de N disponible en el suelo y por ende menor formación de vainas, resaltando así la necesidad de que el sustrato presente niveles moderados de nutrientes para así poder generar un mejor efecto en la planta, lo cual esto lo confirma (Rodriguez & Ortuño, 2007) donde la adicion de materia organica como coadyuvantes mejoro siginificativamente el efecto de las micorrizas sobre el cultivo de cebolla (***Allium cepa***) y papa (***Solanum tuberosum***) en las variables de crecimiento.

En los muestreos realizados en las distintas regiones de Ecuador (Cotopaxi, Chimborazo y Pichincha – norte se encontró infección de micorrizas en las raíces así como esporas en el suelo en parcelas de cultivo de frijol y maíz, con esto se confirma lo expuesto por Delavaux et al., (2019) lo cual exponen que los HMA se encuentran en mayor cantidad en el ecuador y en menor o nula proporción en los polos, de igual forma los suelos en los cuales se observó presencia de HMA son suelos los cuales se practica la labranza mínima y se evita el uso de agroquímicos haciendo uso solamente de los recursos disponibles por los productores (bovinaza, gallinaza, cerdaza, abonos verdes y rastrojo), lo cual esto se observa en sus propiedades, presentando alto contenido de macro y micronutrientes y valores de pH neutro o ligeramente alcalinos. El género que se encontró en mayor cantidad fue *Glomus spp.*, coincidiendo esto con la investigación realizada por Forero et al., (1999) donde el genero Glomus se encuentra en condiciones de suelo con pH alcalino.

Se recomienda las micorrizas comerciales Mycobliss y Bioorganics para aplicaciones sobre el cultivo de frijol tomando en cuenta que fue el que presento el mayor porcentaje de infección y mejor efectos sobre variables de crecimiento y rendimiento en el cultivo de frijol.

En cuanto al número de esporas por gramo de suelo, los tratamientos presentaron bajo contenido de esporas por gramo de suelo, exponiendo así de esta manera la baja presencia de las esporas en los productos comerciales, a diferencia de una investigación realizada por Ilbay (2022) en los paramos del Ecuador donde obtuvo resultados de 73 a 63 esporas por gramos de suelo, esto relata la importancia de evitar degradar los suelos porque al momento de hacer daño en los suelos o practicas agricolas convencionales estamos dañando los nichos en los cuales viven y las interacciones ecologicas se ven afectadas.

En cuanto a la eficiencia fisiológica del N, se puede observar que los tratamientos con inóculos comerciales y los no inoculados fueron bajando el índice de clorofila durante el ciclo de cultivo lo cual presenta una disminución lineal del contenido de clorofila, como lo expone la ley del mínimo, si hay una alta cantidad de nutriente pero no está la cantidad mínima de cualquiera de los otros nutrientes la planta no podrá expresar correctamente su producción, en este caso el suelo tenía alto contenido de Magnesio, el cual es de suma importancia para que se realice la fotosíntesis, esto pudo haber afectado la etapa reproductiva del cultivo.

Los suelos de cangahua son suelos con bajo contenido de nutrientes prácticamente suelos inertes, los cuales limitan la posibilidad de cultivar y esperar buenos rendimientos, esto se convierte en un problema poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de los ecuatorianos y de igual forma expone la necesidad de utilizar prácticas de conservación de suelos para evitar dañar los que todavía no muestran afloramiento de cangahua, sino en un futuro será mucho más difícil rehabilitar estos suelos y resultando en la necesidad de utilizar recursos económicos para mejorar la producción de los cultivos. En este caso las micorrizas podrían generar una mejora en los rendimientos, pero es importante la implementación de materia orgánica o fertilizantes orgánicos para que estas optimicen la absorción de nutrientes y puedan mostrar mejores resultados.

IX. CONCLUSIONES

Se demostró que las micorrizas suponen un efecto significativo sobre sustratos pobres en nutrientes, sin embargo, no se alcanzaron los niveles de rendimiento esperados, con esto se concluye que las micorrizas optimizan la absorción de nutrientes cuando las raíces no son capaces de llegar a las zonas de extracción, pero se muestra la necesidad de agregar fertilizantes orgánicos para mejorar el efecto de estos microorganismos.

Los productos comerciales Mycobliss y Bioorganics presentaron mejores resultados en las variables de producción del cultivo de frijol, probablemente los géneros, aunque fueron las mismas está comprobado que ciertos géneros y especies presentan plasticidad fenotípica lo cual puede cambiar su capacidad de adaptación y acción en distintos ambientes.

Existe presencia de micorrizas nativas en las distintas regiones evaluadas y en los distintos sistemas de cultivo (monocultivo de maíz, monocultivo de frijol y asocio de maíz/ frijol), resaltando con mayor presencia las esporas del género ***Glomus spp***., está comprobado que esta especie se asocia eficientemente con especies de maíz (***Zea mays***) y frijol (***Phaseolus vulgaris L.***). De esta manera, se genera la necesidad de mejorar las prácticas agrícolas y la conservación de suelos con el objetivo de evitar la desaparición de las micorrizas

El contenido de clorofila (ver anexo 13.) está correlacionado con las variables de rendimiento principalmente con No. de vainas / planta y No. de granos por vaina, lo cual nos indica que en la medición de clorofila en este caso de manera indirecta nos da una idea del rendimiento que podamos obtener en nuestro cultivo.

X. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones futuras donde se evalué el efecto de los mismo productos comerciales sobre distintas variedades de leguminosas y gramíneas para determinar cuál se asocia mejor con los productos comerciales y utilizar como fuente de inoculo.

Realizar futuras investigaciones donde se inocule los productos comerciales junto a distintos contenidos de materia orgánica o compost sobre suelos de cangahua con el objetivo de observar su efecto sobre suelos de cangahua y de esta manera determinar si las variables de crecimiento y rendimiento presentan resultados similares o mayores a los especificados por el cultivo.

Realizar un análisis económico para determinar si las micorrizas comerciales son una alternativa a gran escala para evitar el uso excesivo de agroquímicos (principalmente fertilizantes inorgánicos, pesticidas, herbicidas, bioestimulantes)

En futuras investigaciones, realizar empanizado de semillas en lugar de aplicarlas directamente al suelo para evaluar que método de inoculación resulta más eficiente y económico.

Realizar futuras investigaciones haciendo uso de micorrizas nativas con el objetivo de observar el efecto sobre el cultivo de frijol sembrado sobre suelo de cangahua y determinar si suponen un efecto similar o menor a las micorrizas comerciales.

Utilizar un mayor número de unidades experimentales en futuras investigaciones y correlacionar el contenido de clorofila con las variables de rendimiento con el objetivo de tener mayor cantidad de datos para determinar con mejor precisión la eficiencia agronómica del contenido de clorofila.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. *https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065*, 1-9.

Akhtar, O., Pandey, D., & Zoomi, I. (2018). Arbuscular Mychorrizal Fungi: Taxonomy and its systematics. *Researchgate*, pp. 58- 71.

Alvarado, G. G. (2001). *Evaluación de los beneficios de la inoculación con micorriza arbuscular en el cultivo de frijol común (Phaseolus vulgaris L.).* Zamorano, Honduras: https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/723984dc-0d11-400d-ad02-8a95b73c4ff8/content.

Benitez, R., & Vidal, D. (2016). *CIANOBACTERIAS: UNA ALTERNATIVA PARA AUMENTAR LA COMPETITIVIDAD AGRÍCOLA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA DE LA GUAJIRA COLOMBIANA.* La Guajira-Colombia http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei: Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías Vol. (3) N° (2) ISSN 2389-9484.

Camacho, E. C. (2017). Revolución Verde Agricultura y suelos, aportes y controversias. *Apthapi, 3(3), 844–859.*, https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/195.

Camarena-Gutierrez, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente, 18(3), 409–421.*

Camargo-Ricalde, S. L., Montaño, N. M., Rosa-Mera, C. J., & Arias, S. A. (2012). MICORRIZAS: UNA GRAN UNIÓN DEBAJO DEL SUELO. *Revista Digital Universitaria, Volumen 13 Número 7*, 4. https://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/.

Caulfield, M., Groot, J. C., Fonte, S. J., Sherwood, S., Oyarzun, P., Borja, R. M., . . . Tittonell, P. (2020). Live barriers and associated organic amendments mitigate land degradation and improve crop productivity in hillside agricultural system of the Ecuadorian Andes. *Degradacion de la tierra y desarrollo, Research gate*, 1. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.3558.

Central, R. (2024). *Ministerio Agropecuario Informa Incremento del 9.2% en Siembra de Frijol Rojo.* https://diariobarricada.com/nacionales/ministerio-agropecuario-informa-incremento-

del-9-2-en-siembra-de-frijol-rojo/: Diario Barricada.

Chauca, V. L. (2002). *Evaluación y caracterización de cuatro inoculantes comerciales de micorrizas en frijol (Phaseolus vulgaris L.), pasto Tanzania (Panicum maximum Jacq) y pasto Transvala (Digitaria decumbens Stent)* . https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/65a5ef3f-d75c-4538-b095-a52c165baf02/content: Zamorano, Honduras.

Cruz, L. (2021). *4 variedades de frijol se consumen.* https://www.scribd.com/document/542696060/4-Variedades-de-Frejol-Se-Consumen.

Custode, E., Noni, G. d., Trujillo, G., & Viennot, M. (1992). *La cangahua en el Ecuador : caracterización morfo-edafológica y comportamiento frente a la erosión = La cangahua en Ecuador : caracterización morfo-edafológica y susceptibilidad a la erosión.* https://www.researchgate.net/publication/282168016_La_cangahua_en_el_Ecuador_caracterizacion_morfo-edafologica_y_comportamiento_frente_a_la_erosion_The_cangahua_in_Ecuador_morpho-edaphologic_characterization_and_susceptibility_to_erosion: ResearchGate.

Escalante, B. C. (2004). *Determinacion de la asociacion de micorrizas arbusculares en papa y evaluacion de inoculantes comerciales en la absorcion de fosforo.* Quito. pp. 37.

FitzPatrick, E. A. (1984). *Suelos: Su formación, clasificación y distribución.* Calz. de Tlalpan Núm. 4620, México 22, D. F.: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL S. A. DE C. V. Hemeroteca Vicente Aleman Universidad Nacional de Agricultura y Ganadería UNAG.

Fonte, S. J., Vanek, S. J., Oyarzun, P., Parsa, S., Quintero, D. C., Rao, I., & Lavelle, P. (s/f). *Explorando Opciones Agroecológicas para el Manejo de la Fertilidad del Suelo en Sistemas de Agricultura en pequeña escala de las Zonas Alto-andinas.*

Forero, L., Chaves, G., & Unigarro, A. (1999). *Evualacion cuantitativa de Hongos Formadores de Micorriza Vesiculo Arbuscular (MVA) en malezas de clima medio.* San Juan de Pasto: Ediciones Unariño.

Gadñay, H. D. (2023). *EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO EN DIFERENTES PRÁCTICAS DE MANEJO DE AGROECOSISTEMAS EN SAN MIGUEL DE QUERA-CACHA.* Rio Bamba, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE RECURSOS NATURALES .

Gavande, S. A. (1982). *Física de suelos: Principios y aplicaciones.* Balderas 95, Mexico 1, D. F.:

Editorial Limusa, S. A. , p. 17, Hemeroteca Vicente Aleman Universidad Nacional de Agricultura y Ganadería UNAG.

Gómez, L. I., Portugal, V. O., Arriaga, M. R., & Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum, vol. 14, núm. 3, noviembre-febrero, pp. 300-306,* http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10414307.

González, R. L., Sosa, D. B., & Díaz, R. B. (2012). *Efecto de la aplicación de Rhizobium y Mycorriza en el crecimiento del frijol (Phaseolus vulgaris L) variedad CC-25-9 negro.* Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Carretera a Varadero; Matanzas, Cuba.: Editorial Feijoo.

Guerrero, C. X. (s/f). *SISTEMA DE MANEJO POSTCOSECHA DE FREJOL, ARVEJA Y SOYA.* Universidad Tecnica del Norte. https://www.calameo.com/read/003409372ae28c57f1f29.

Hernandez, D. M., Guillen, P. I., Chóez, M. d., & Cabeza, D. C. (2023). Efecto de las micorrizas en fertilización de forma complementaria en el cultivo de maíz (Zea mays). *Sathiri (18) 2, 145-157*, http://dx.doi.org/10.32645/13906925.1219.

Herrera, M. (2024). *Influencia del pH del suelo en la multiplicación de las micorrizas.* http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16114.

Hillel, D. (2008). *Soil in the Environment: Crucible of Terrestrial Life (2nd ed.).* Academic Press. https://educate.elsevier.com/book/details/9780123485366.

Ilbay, J. L. (2022). *COLONIZACIÓN DE HONGOS MICORRIZICOS EN RAÍCES DE MORTIÑO (Vaccinium floribundum Kunth) EN LOS PÁRAMOS DE GANQUIS Y CUBILLÍN EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO* . Rio Bamba, Ecuador.: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.

INEC. (Abril, 2023). *Encuesta de superficie y produccion agropecuaria continua ESPAC 2022.* https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf.

Ingham, E. R. (2011). Chapter 1: THE SOIL FOOD WEB. En *The Soil Biology*. The Soil Biology Primer.

INVAM. (2025). Obtenido de La Colección Internacional de Hongos Micorrízicos Arbusculares (Vesiculares) INVAM: https://invam.ku.edu/

Lancho, J. F. (2002-2006). REUTILIZACION DE SUELOS VOLCANICOS EROSIONADOS SIN PROMOVER MAS DEGRADACION. *X Congreso Ecautoriano de la ciencia del*

suelo, 2 p.

Martinez-Romero, E., & Caballero-Mellado, J. (2011). Rhizobium Filogenias y diversidad genética bacteriana. *Revisiones criticas en ciencias de las plantas, Volumen 15, 1996, Numero 2*, 113-140. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352689.1996.10393183.

Mora, A., & Leblanc, H. (2012). EVALUACIÓN DEL USO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES PARA DISMINUIR LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES FOSFORADOS EN EL CULTIVO DEL MAÍZ. *Tierra Tropical (2012) 8 (2): 245-255*, p.250 https://www.researchgate.net/profile/Humberto-Leblanc/publication/281066241_Evaluacion_del_uso_de_micorrizas_arbusculares_para_disminuir_la_aplicacion_de_fertilizantes_fosforados_en_el_cultivo_del_maiz/links/55d3495d08ae7fb244f5854a/Evaluacion-del-u.

Morales, E. R. (2015). *Manejo de cultivos andinos del Ecuador*. Obtenido de https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b3f8e1aa-f491-4cbb-afe2-37e64edb6682/content.

Navarrete, E. T., Caiza, D. Q., Laíño, A. S., Bermeo, M. R., Osorio, G., Navarrete, A. T., . . . Chong, A. H. (2013). CARACTERIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI ECUADOR: CASO COMUNA PANYATUG. *Google Scholar*, p. 24. http://dx.doi.org/10.18779/cyt.v6i1.176.

Palacios, I., Ushina, D., & Carrera, D. (2021). *Pixel Purity Index Applied to the Mapping of Degraded Soils by the Presence of Cangahuas in the Ilalo Volcano, Ecuador.* Vol. 11, número 5, pp. 2121–2127. DOI 10.18517/IJASEIT.11.5.14684. : International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology.

Peralta, E., Murillo, A., Mazon, N., Pinzon, J., & Villacres, E. (2013). *MANUAL AGRÍCOLA DE FRÉJOL Y OTRAS LEGUMINOSAS.* Quito, Ecuador http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2705: Publicación Miscelánea No. 135 (Tercera edición).

Rodriguez, K. R., & 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; Vol. 3, Nº 4.

Sherwood, S., Caulfield, M., Paredes, M., Borja, R. M., & Oyarzun, P. (2023). *Response-ability: Establishing Regenerative Soil Management in the Northern Andes.*

https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003093718-43/response-ability-stephen-sherwood-mark-caulfield-myriam-paredes-ross-maria-borja-pedro-oyazun. p. 14.

Silva, A. (1998). *La materia orgánica del suelo.* Obtenido de Google Academics Montevideo: Facultad de Agronomía. 34p: https://bibliofagro.pbworks.com/f/materia+organica+del+suelo.pdf

Sims, B. G., & V., F. R. (2000). Impacto de barreras vivas sobre suelos de ladera en los valles interandino de Bolivia. II: Efecto sobre la fertilidad del suelo. *Researchgate, Ceiba 2000. Volumen 41(1): p.11-16*, https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4297/1/01.pdf.

Triana, C. V. (2015). EVALUACIÓN DE LA ESPECIFICIDAD ENTRE PLANTAS E INÓCULOS COMERCIALES DE MICORRIZAS PARA EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE ARVEJA (Pisum sativum L). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá D.C., Colombia.

Trujillo, G., Ortega, C., Hidrobo, J., & Prat, C. (Junio, 2014). *Habilitacion de Cangahua en el Ecuador.*

Zebrowski, C. (1996). Los suelos con cangahua en el Ecuador. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010012918.pdf. p 132. .

Silva, D., Kalinhoff, C., Camargo-Mora, M.G., Guerrero, O.A. 2023. Biomasa de raíces finas y micorrizas arbusculares en tres humedales altoandinos del sur de Ecuador con distinto grado de perturbación. Ecosistemas 32(1): 2429. https://doi.org/10.7818/ECOS.2429

Delavaux, C.S., Weigelt, P., Dawson, W. *et al.* Los hongos micorrícicos influyen en la biogeografía global de las plantas. *Nat Ecol Evol* **3**, 424–429 (2019). https://doi.org/10.1038/s41559-019-0823-4

IX. ANEXOS

Anexo 1.Datos reales de porcentajes de infección de hongos micorrícicos arbusculares en la zona centro, zona centro sur y zona norte. Cotopaxi – Chimborazo - Pichincha - Norte, 2025.

Zona	Sistema de cultivo	Porcentaje de infección
Zona centro - norte Cotopaxi	Maíz monocultivo	11.11
	Maíz monocultivo	17.86
	Maíz monocultivo	13.33
	Maíz monocultivo	20.00
	Maíz monocultivo	19.23
	Asocio maíz/frijol	10.34
	Asocio maíz/frijol	14.29
	Asocio maíz/frijol	22.22
	Asocio maíz/frijol	7.14
	Asocio maíz/frijol	24
Zona centro sur - Chimborazo	Maíz monocultivo	33.33
	Maíz monocultivo	19.23
	Maíz monocultivo	46.67
	Maíz monocultivo	26.92
	Maíz monocultivo	7.69
	Asocio maíz/frijol	48
	Asocio maíz/frijol	23.3
	Asocio maíz/frijol	17.5
	Frijol monocultivo	8
	Frijol monocultivo	22.2
Zona Norte – Pichincha - Norte	Frijol monocultivo	6.89
	Frijol monocultivo	8.06
	Frijol monocultivo	13.33
	Frijol monocultivo	20.54
	Frijol monocultivo	57.69
	Frijol monocultivo	4.73
	Frijol monocultivo	12.07
	Frijol monocultivo	12
	Asocio maíz/frijol	13.33
	Asocio maíz/frijol	12.07

Anexo 2. Datos reales para número de esporas en la zona centro – norte Cotopaxi 2025.

Zona	Sistema de cultivo	Glomus	Acaulospora	Archaespora	Entrophospora	Scutellospora	Otras	Suma
Zona centro – norte Cotopaxi	Maíz monocultivo	1.00	3.00	1.00	0.00	0.00	8.00	13.00
	Maíz monocultivo	7.00	2.00	0.00	0.00	0.00	3.00	12.00
	Maíz monocultivo	11.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	19.00
	Maíz monocultivo	5.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	7.00
	Maíz monocultivo	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	9.00
	Asocio maíz/frijol	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	6.00	10.00
	Asocio maíz/frijol	3.00	0.00	1.00	0.00	0.00	3.00	7.00
	Asocio maíz/frijol	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	7.00
	Asocio maíz/frijol	6.00	2.00	0.00	0.00	1.00	1.00	10.00
	Asocio maíz/frijol	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	8.00
Suma		50.00	10.00	5.00	3.00	1.00	33.00	102.00
Promedio (g/suelo)		5.00	1.00	0.50	0.30	0.10	3.30	10.20

Anexo 3. Datos reales para número de esporas en la zona centro sur – Chimborazo 2025.

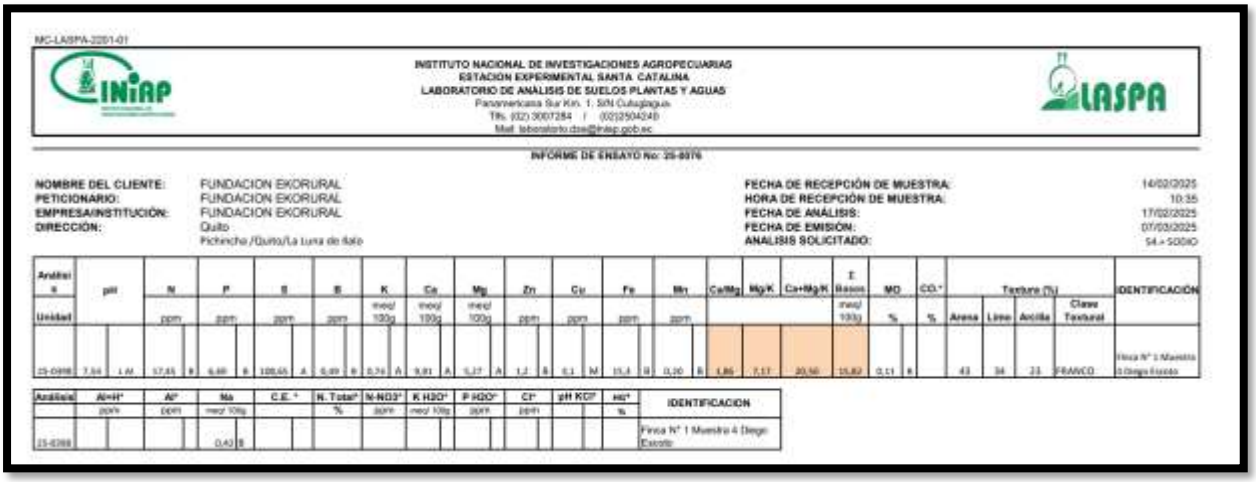
Zona	Sistema de cultivo	Glomus	Acaulospora	Archaespora	Entrophospora	Scutellospora	Otras	Suma
Zona centro sur - Chimborazo	Asocio maíz/frijol	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	8.00
	Asocio maíz/frijol	3.00	1.00	0.00	0.00	1.00	3.00	8.00
	Asocio maíz/frijol	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	10.00
	Maíz monocultivo	8.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00	15.00
	Maíz monocultivo	6.00	0.00	1.00	0.00	0.00	3.00	10.00
	Maíz monocultivo	7.00	0.00	2.00	0.00	1.00	3.00	13.00
	Maíz monocultivo	7.00	0.00	0.00	1.00	1.00	8.00	17.00
	Maíz monocultivo	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	4.00	8.00
	Frijol monocultivo	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	6.00
	Frijol monocultivo	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	4.00
Suma		42.00	6.00	4.00	2.00	5.00	40.00	99.00
Promedio (g/suelo)		4.20	0.60	0.40	0.20	0.50	4.00	9.90

Anexo 4.Datos reales para número de esporas en la zona norte – Pichincha – Norte, 2025.

Zona	Sistema de cultivo	Glomus	Acaulospora	Archaespora	Entrophospora	Scutellospora	Otras	Suma
Zona Norte - El oro	Frijol monocultivo	11.00	2.00	6.00	0.00	0.00	1.00	20.00
	Frijol monocultivo	10.00	1.00	2.00	0.00	0.00	12.00	25.00
	Frijol monocultivo	3.00	0.00	1.00	0.00	0.00	4.00	8.00
	Frijol monocultivo	10.00	0.00	2.00	0.00	0.00	3.00	15.00
	Frijol monocultivo	7.00	0.00	3.00	1.00	0.00	1.00	12.00
	Frijol monocultivo	15.00	4.00	2.00	2.00	0.00	3.00	26.00
	Frijol monocultivo	9.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.00	12.00
	Frijol monocultivo	8.00	1.00	2.00	1.00	0.00	1.00	13.00
	Asocio maiz/frijol	2.00	6.00	0.00	0.00	0.00	3.00	11.00
	Asocio maiz/frijol	7.00	4.00	1.00	0.00	1.00	1.00	14.00
Suma		82.00	18.00	21.00	4.00	1.00	30.00	156.00
Promedio (g/suelo)		8.20	1.80	2.10	0.40	0.10	3.00	15.60

Anexo 5. Zona de extracción de suelo de cangahua

Anexo 6. Análisis de suelo recolectado para siembra de cultivo de frijol.



MC-LASPA-2201-01

INIAP

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutuglagua
Tfs. (02) 3007284 / (02)2504248
Mail: laboratorio.dse@iniap.gob.ec

LASPA

INFORME DE ENSAYO No: 25-0076

NOMBRE DEL CLIENTE: FUNDACION EKORURAL
PETICIONARIO: FUNDACION EKORURAL
EMPRESA/INSTITUCIÓN: FUNDACION EKORURAL
DIRECCIÓN: Quito
Pichincha /Quito/La Luna de Ñato

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14/02/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 10:35
FECHA DE ANÁLISIS: 17/02/2025
FECHA DE EMISIÓN: 07/03/2025
ANALISIS SOLICITADO: S4.+ SODIO

Análisis	pH		N		P		S		B		K		Ca		Mg		Zn		Cu		Fe		Mn		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO		CO.*		Textura (%)				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%		%		Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0098	7,34	LM	17,45	B	6,69	B	108,65	A	0,49	B	0,74	A	9,81	A	1,17	A	1,2	B	0,1	M	15,4	B	0,20	B	1,86	7,17	20,50	15,82	0,11	B			43	34	23	FRANCO	Finca N° 1 Muestra 4 Dega Excelo

Análisis	Al+H*		Al*		Na		C.E. *		N. Total*	N-NO3*	K H2O*	P H2O*	Cl*		pH KCl*		MO*	IDENTIFICACION
	ppm		ppm		meq/100g				%	ppm	meq/100g	ppm	ppm				%	
25-0098					0,42	B												Finca N° 1 Muestra 4 Dega Excelo

Anexo 7. Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Chimborazo, 2025.

MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.
Tlfs. (02) 3007284 / (02)2504249
Mail: laboratorio.eesc@iniap.gob.ec

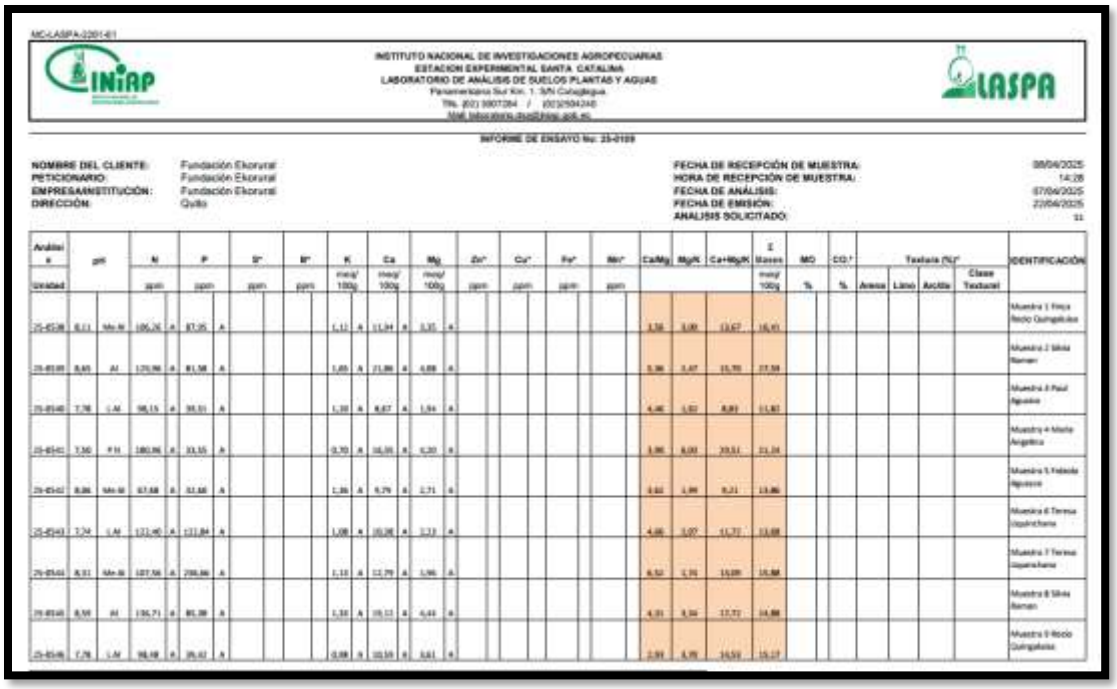
INFORME DE ENSAYO No: 25-0091

NOMBRE DEL CLIENTE: Fundación EKORURAL
PETICIONARIO: Fundación EKORURAL
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Fundación EKORURAL
DIRECCIÓN: Quito

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11/03/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 11:30
FECHA DE ANÁLISIS: 17/03/2025
FECHA DE EMISIÓN: 26/03/2025
ANALISIS SOLICITADO: 12.

Análisis	pH		N		P		S*	B*	K		Ca		Mg		Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm	ppm	meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0490	8,47	Mo Al	57,24	M	24,94	A			0,92	A	17,98	A	4,50	A					4,00	4,00	24,48	23,40							Muestra Pascual Yungan Cuellobamba (M3-S)
25-0491	8,65	Al	41,03	M	25,16	A			1,00	A	17,65	A	4,87	A					3,62	4,90	22,63	23,52							Muestra Susana Tenelema Tzimbuto viola con avena.
25-0492	8,51	Al	72,15	A	22,87	A			0,50	A	18,90	A	3,77	A					5,02	6,43	28,70	23,25							Muestra Paula Alloico Cuellobamba (M4-S)
25-0493	8,64	Al	61,21	A	19,30	M			0,70	A	15,72	A	4,58	A					3,43	6,55	20,85	21,00							Muestra Petrona Alloico Cuellobamba (M4-S)
25-0494	7,51	L Al	21,33	B	6,93	B			0,30	M	16,07	A	5,68	A					2,93	18,33	22,13	21,85							Muestra Don Hilario Gualag (M1)
25-0495	8,41	Mo Al	55,01	M	178,34	A			1,29	A	17,38	A	5,15	A					3,37	4,00	17,30	23,82							Muestra Manuela Guaman Tanshigrande (F3-S)
25-0496	8,17	Mo Al	44,65	M	94,49	A			1,05	A	18,66	A	5,46	A					3,41	5,23	23,08	25,17							Muestra Alfonso Ramipamba Cuellobamba (F1-S)
25-0497	8,45	Mo Al	79,61	A	23,80	A			1,08	A	15,83	A	5,21	A					3,04	4,83	19,93	22,12							Muestra Susana Tenelema Tzimbuto mala,cebada,maiz
25-0498	8,38	Mo Al	80,67	A	191,96	A			1,64	A	17,09	A	4,76	A					3,59	2,90	13,31	23,48							Muestra Concepción Tenelema Tushi grande (F2-S)
25-0499	8,64	Al	51,91	M	26,03	A			1,00	A	17,60	A	4,42	A					4,05	4,40	22,24	23,32							Muestra Maria Tzimbuzo (A3-S)
25-0500	8,11	Mo Al	68,73	A	73,32	A			1,46	A	20,41	A	4,93	A					4,14	3,39	17,40	26,80							Muestra Beatriz HernandezCuellobamba (M2-S)

Anexo 8. Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Cotopaxi, 2025.



MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua
Tfs. (02) 3007284 / (02)2504340
Mail: laboratorio.iniap@iniap.gob.ec

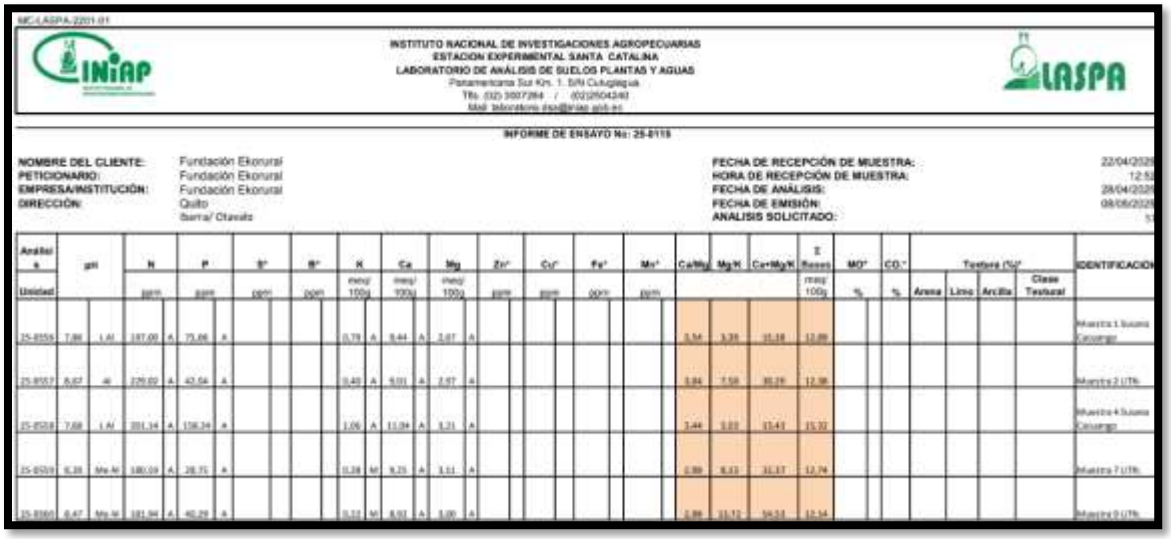
INFORME DE ENSAYO No: 25-0109

NOMBRE DEL CLIENTE: Fundación Ekorural
PETICIONARIO: Fundación Ekorural
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Fundación Ekorural
DIRECCIÓN: Quito

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 08/04/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:28
FECHA DE ANÁLISIS: 07/04/2025
FECHA DE EMISIÓN: 22/04/2025
ANALISIS SOLICITADO: 11

Análisis	pH		N		P		S*		B*		K		Ca		Mg		Zn*		Cu*		Fe*		Mn*		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO	CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0108	8,11	Me-M	105,26	A	87,95	A					1,11	A	11,94	A	3,35	A									3,58	3,00	13,67	16,45							Muestra 1 Finca Recio Quingaloma
25-0109	8,65	Al	125,96	A	81,58	A					1,65	A	21,86	A	4,88	A									5,96	3,47	15,70	27,59							Muestra 2 Silvia Ramos
25-0140	7,78	L-M	98,15	A	99,51	A					1,10	A	8,67	A	1,94	A									4,46	1,62	8,83	11,87							Muestra 3 Paul Aguaiza
25-0141	7,50	P-N	180,96	A	33,15	A					0,70	A	16,35	A	4,20	A									3,90	6,00	20,51	31,24							Muestra 4 Maria Angélica
25-0142	8,06	Me-M	87,68	A	32,68	A					1,36	A	9,79	A	2,71	A									3,60	1,99	9,21	13,86							Muestra 5 Fabiola Aguaiza
25-0143	7,24	L-M	122,40	A	121,84	A					1,08	A	10,38	A	2,13	A									4,88	1,97	11,72	13,68							Muestra 6 Teresa Llapatichana
25-0144	8,31	Me-M	107,56	A	288,86	A					1,10	A	12,79	A	1,96	A									6,52	1,78	13,09	15,58							Muestra 7 Teresa Llapatichana
25-0145	8,50	Al	136,71	A	85,38	A					1,33	A	19,12	A	4,44	A									4,31	3,34	17,72	14,88							Muestra 8 Silvia Ramos
25-0146	7,78	L-M	98,48	A	35,42	A					0,88	A	10,59	A	3,61	A									2,93	4,09	14,53	15,17							Muestra 9 Recio Quingaloma

Anexo 9 Análisis de suelos de parcelas de la provincia de Pichincha - Norte, 2025



MC-LASPA-2201-01

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS
Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua
Tfs. (02) 3007284 / (02)2504340
Mail: laboratorio.iniap@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 25-0115

NOMBRE DEL CLIENTE: Fundación Ekorural
PETICIONARIO: Fundación Ekorural
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Fundación Ekorural
DIRECCIÓN: Quito
Sarra/ Chavela

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 22/04/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:53
FECHA DE ANÁLISIS: 28/04/2025
FECHA DE EMISIÓN: 09/05/2025
ANALISIS SOLICITADO: 11

Análisis	pH		N		P		S*		B*		K		Ca		Mg		Zn*		Cu*		Fe*		Mn*		Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm		ppm		meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm		ppm		ppm		ppm					meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0116	7,86	L-M	187,00	A	75,66	A					0,79	A	9,44	A	2,67	A									3,54	3,38	15,18	12,89							Muestra 1 Susana Cevallos
25-0117	8,67	Al	279,02	A	42,04	A					0,40	A	9,01	A	2,57	A									3,84	7,58	20,26	12,38							Muestra 2 UTN
25-0118	7,68	L-M	201,14	A	136,34	A					1,06	A	11,94	A	3,21	A									3,44	3,03	15,43	15,32							Muestra 4 Susana Cevallos
25-0119	6,38	Me-M	180,09	A	28,75	A					0,28	M	9,25	A	3,11	A									2,99	8,33	32,37	12,74							Muestra 7 UTN
25-0120	8,47	Me-M	181,94	A	40,29	A					0,33	M	8,93	A	3,00	A									2,99	11,72	34,53	12,14							Muestra 9 UTN

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

INFORME DE ENSAYO No: 25-0118

NOMBRE DEL CLIENTE: Fundación Ekorural
PETICIONARIO: Fundación Ekorural
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Fundación Ekorural
DIRECCIÓN: Quito
Ibarra/Otavalo/Atahualpa

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 22/04/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:52
FECHA DE ANÁLISIS: 28/04/2025
FECHA DE EMISIÓN: 08/05/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: 51

Análisis	pH		N		P		S*	B*	K		Ca		Mg		Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm	ppm	meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0561	8,65	Al	232,09	A	90,84	A			0,45	A	9,00	A	2,99	A					3,11	6,74	21,71	12,92							Muestra 3 Planetaria
25-0562	7,39	F N	270,18	A	99,94	A			0,47	A	6,48	A	1,41	A					4,60	3,01	16,84	8,36							Muestra 5 Manual Rosalía
25-0563	6,99	F N	286,73	A	67,22	A			0,25	M	9,04	A	1,34	A					7,39	5,43	45,53	11,53							Muestra 5 AA2
25-0564	7,69	L Al	201,99	A	59,24	A			0,80	A	7,21	A	2,05	A					3,52	2,56	11,09	10,06							Muestra 8 N/V

Anexo 10 Análisis de suelos de los tratamientos luego de la cosecha.

MC-LASPA-2201-01

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

INFORME DE ENSAYO No: 25-0134

NOMBRE DEL CLIENTE: Fundación Ekorural
PETICIONARIO: Fundación Ekorural
EMPRESA/INSTITUCIÓN: Fundación Ekorural
DIRECCIÓN: Quito

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 01/05/2025
HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14:40
FECHA DE ANÁLISIS: 05/05/2025
FECHA DE EMISIÓN: 20/05/2025
ANÁLISIS SOLICITADO: 51

Análisis	pH		N		P		S*	B*	K		Ca		Mg		Zn*	Cu*	Fe*	Mn*	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Σ Bases	MO*	CO.*	Textura (%)*				IDENTIFICACIÓN
Unidad			ppm		ppm		ppm	ppm	meq/100g		meq/100g		meq/100g		ppm	ppm	ppm	ppm				meq/100g	%	%	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	
25-0609	8,09	Me Al	77,46	A	8,64	B			0,40	A	8,48	A	2,23	A					2,98	6,14	22,03	11,11							Muestra T0 R2
25-0610	8,26	Me Al	66,84	A	8,36	B			0,47	A	10,51	A	3,30	A					3,18	7,02	29,39	14,28							Muestra T1 R1
25-0611	8,02	Me Al	28,02	B	8,35	B			0,37	M	10,51	A	5,67	A					2,91	9,91	38,34	14,50							Muestra T2 R1
25-0612	8,14	Me Al	51,49	M	6,67	B			0,48	A	8,53	A	2,80	A					3,04	5,80	23,67	11,81							Muestra T3 R1
25-0613	8,10	Me Al	54,24	M	7,67	B			0,43	A	8,68	A	2,22	A					2,43	7,66	27,85	11,44							Muestra T4 R2

Anexo 11. Raíces de sistemas de cultivo de frijol, maíz y asocio maíz/frijol con presencia de hifas, vesículas y arbusculos de hongos micorrícicos arbusculares.

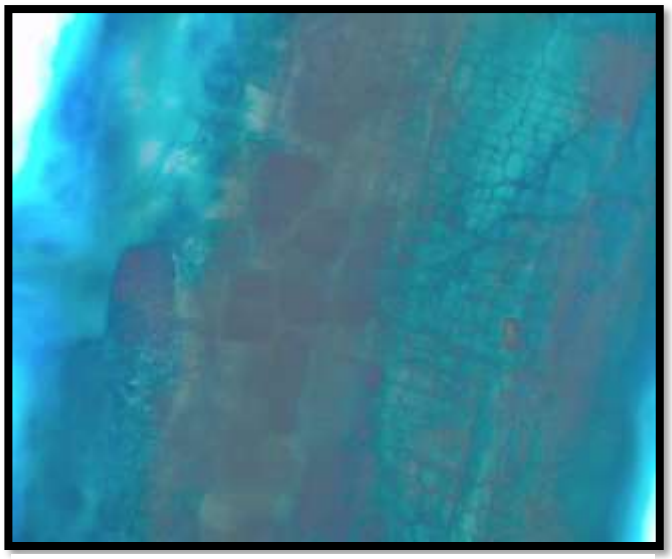


Imagen 1. Raiz de frijol con presencia de arbusculos y vesículas.

Imagen 2. Hifas presentes en raíz de maíz

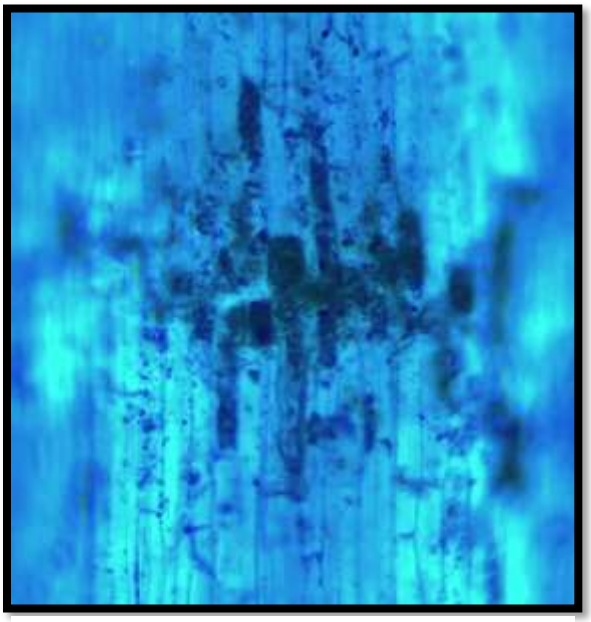


Imagen 3. Arbusculos presentes en raíz de maíz.

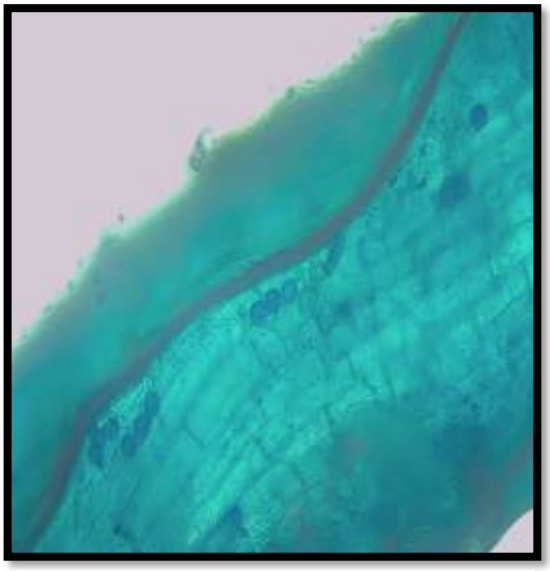


Imagen 4. Vesículas presentes en raíz de maíz

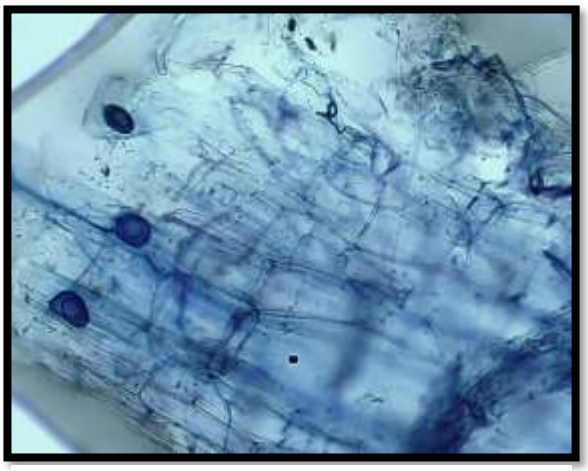


Imagen 5. Vesículas presentes en raíz de maíz

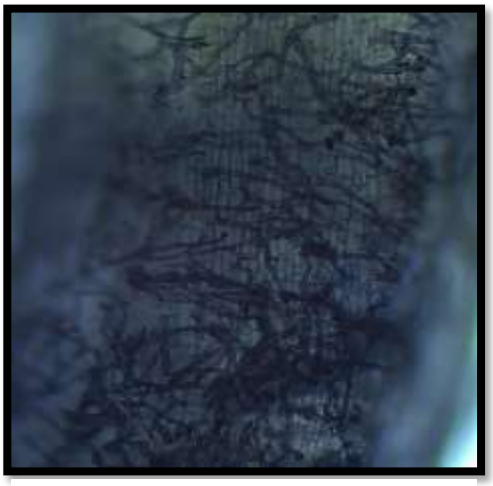


Imagen 7. Hifas presentes en raíz de maíz

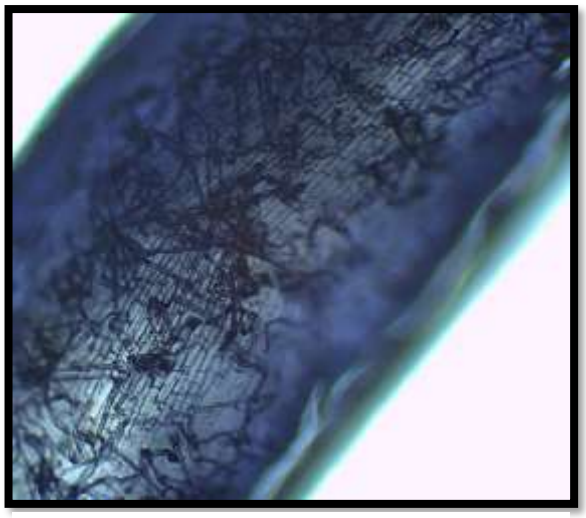


Imagen 8. Hifas presentes en raíz de maíz

Imagen 9. Vesícula presente en raíz de frijol.

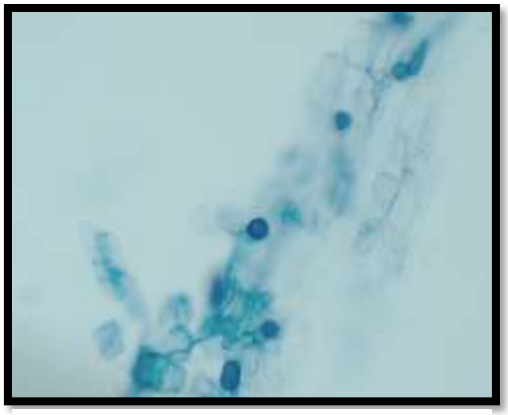


Imagen 10. Vesículas presentes en segmento de raíz de frijol.

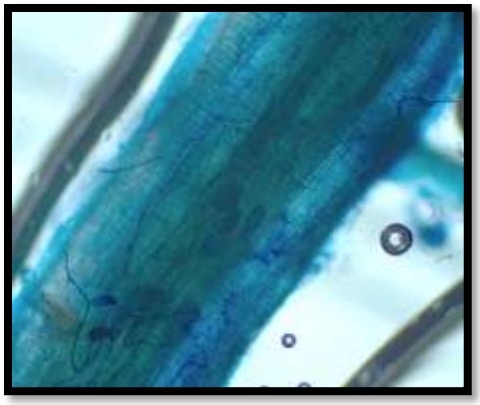
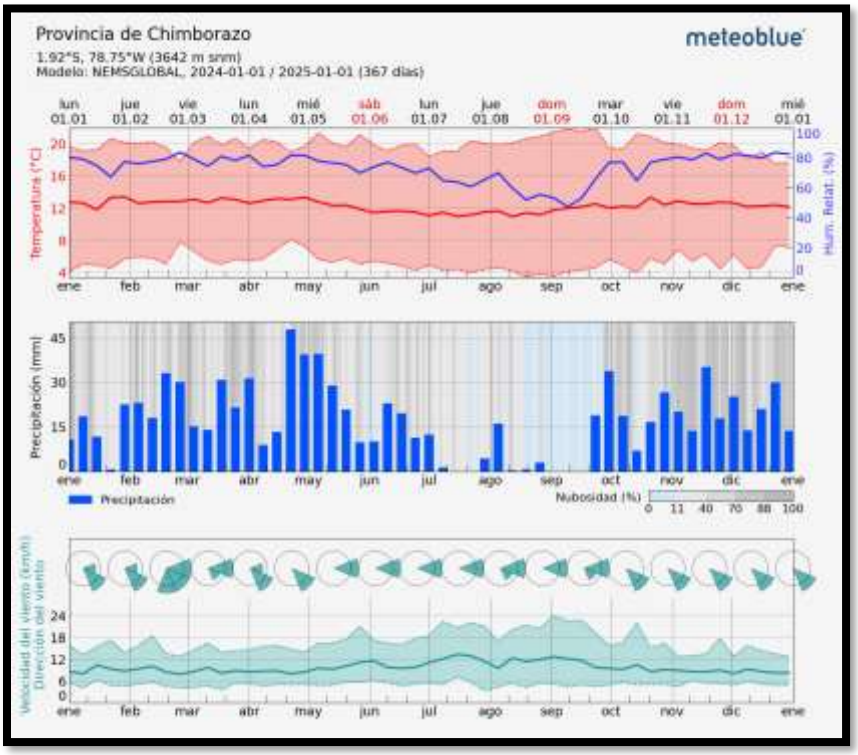
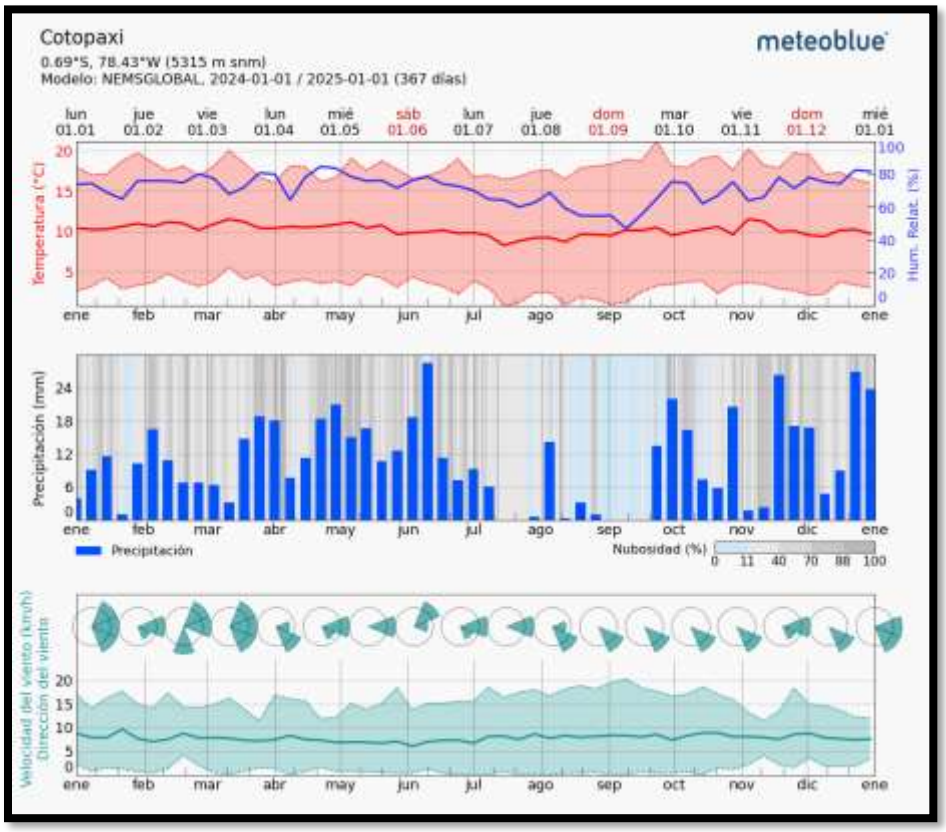


Imagen 11. Hifas y arbusculos presentes en raíz de frijol

Anexo 12. Gráfico de características climáticas de la provincia de Chimborazo, 2025.

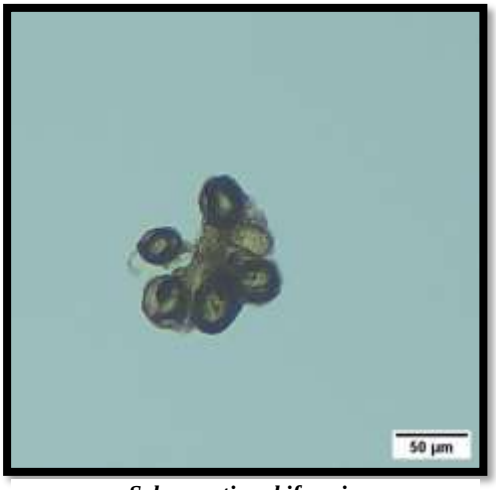


Anexo 13. Gráfico de características climáticas de la provincia de Cotopaxi, 2025.



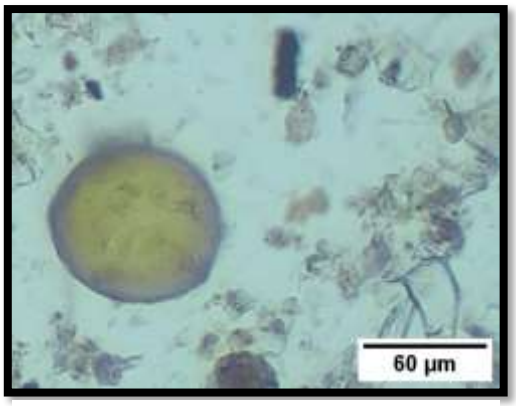
Anexo 13. Esporas observadas en las distintas zonas muestreadas.

Glomus spp.



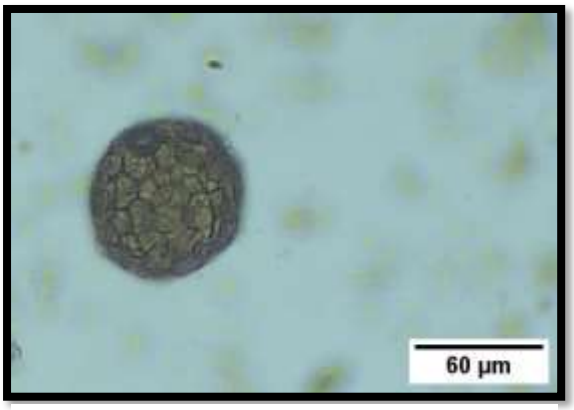
Sclerocystis rubiformis.

Glomus spp.

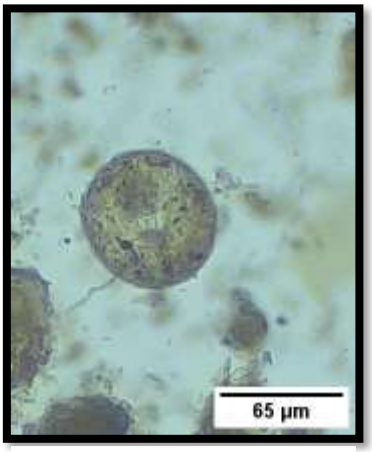


Glomus spp.

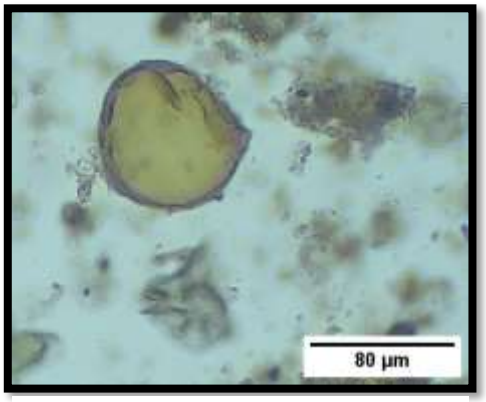
Glomus spp



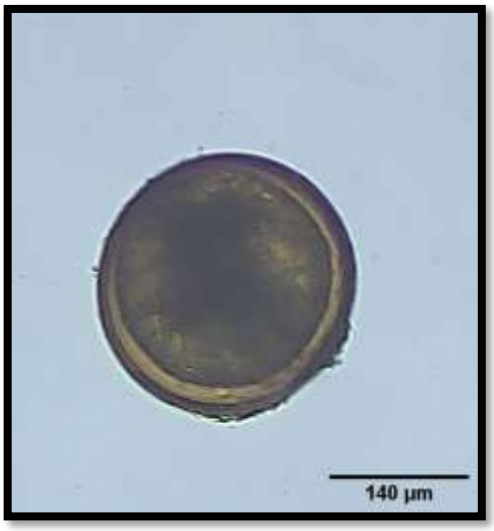
Entrophospora spp.



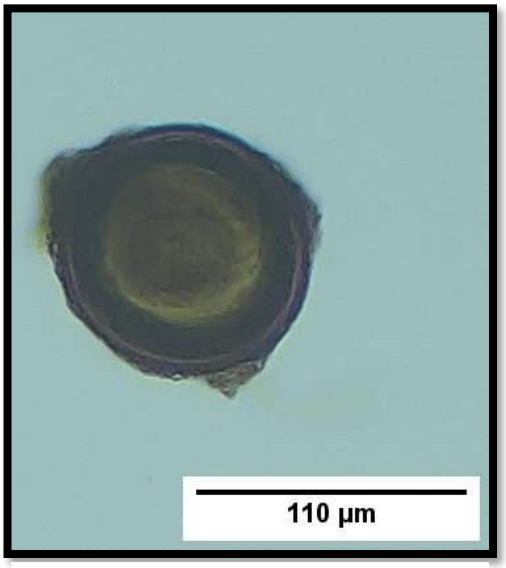
Scutellospora spp.



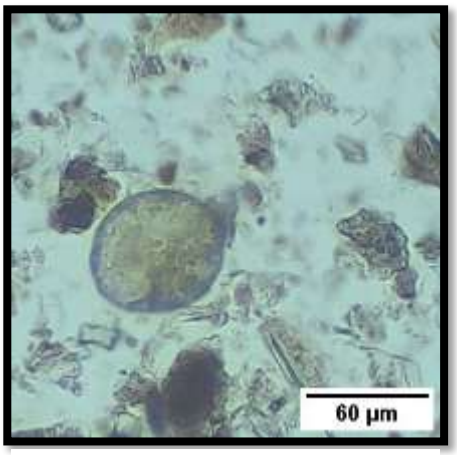
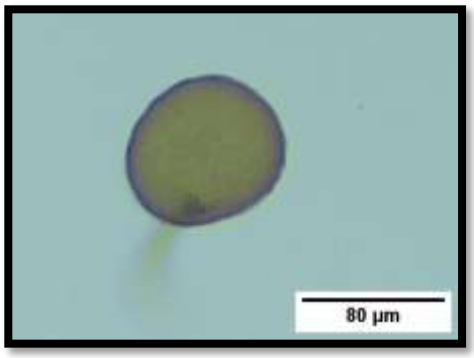
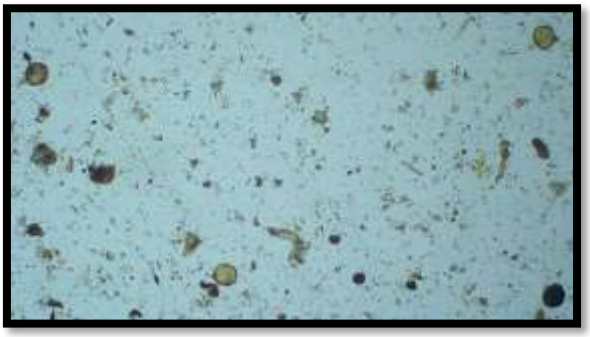
Glomus spp.

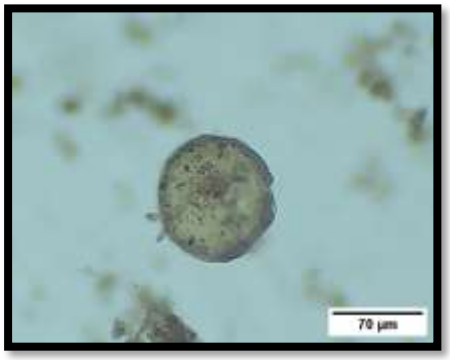
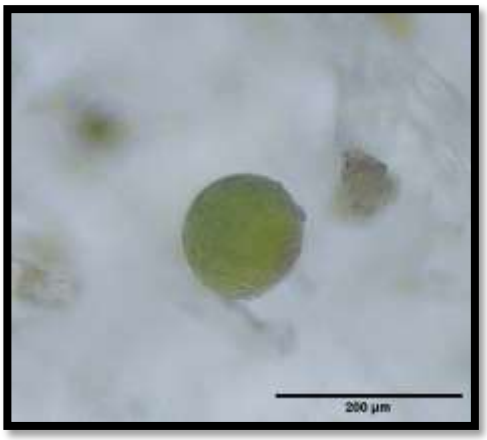


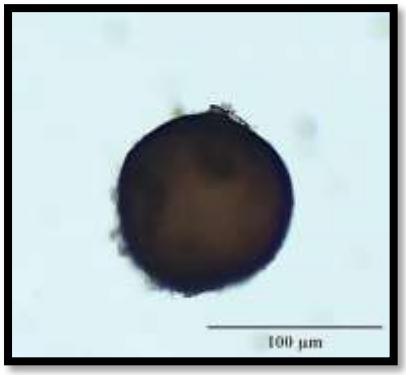
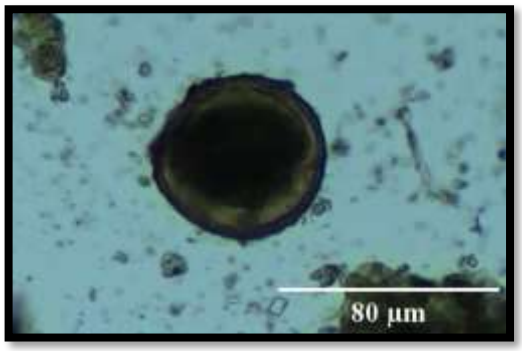
Glomus spp.



Glomus spp

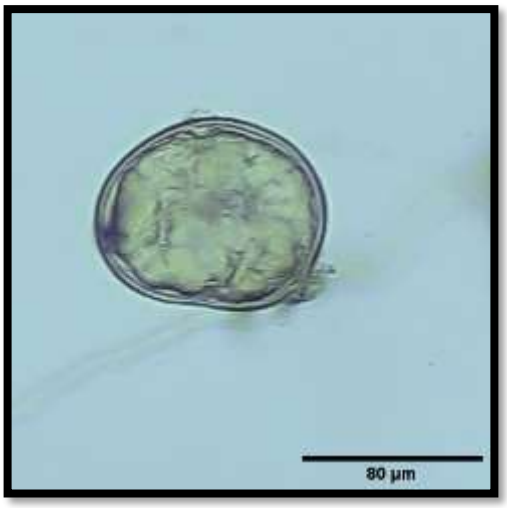
 Glomus spp.	 ***Glomus spp.***
 ***Scutellospora spp.***	 ***Glomus spp.***
 Glomus spp.	 **Esporas de *Glomus spp.***

 ***Scutellospora spp.***	***Glomus spp.***
Acaulospora spp.	***Acaulospora spp.***
 ***Gigaspora spp.***	***Glomus spp.***

 ***Glomus spp.***	 ***Acaulospora spp.***
 Glomus spp.	 ***Glomus spp.***
 ***Acaulospora spp.***	 ***Acaulospora spp.***

Anexo 14. Esporas observadas en suelo de los distintos tratamientos.

Claroideoglomus etunicatum (Bioorganics)



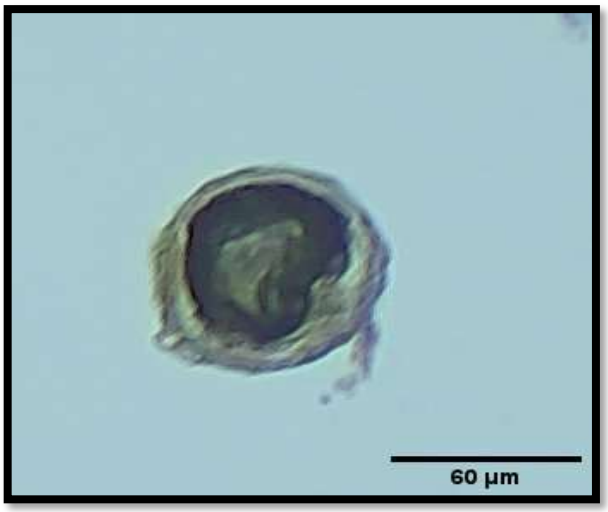
Claroideoglomus etunicatum (Bioorganics)

Claroideoglomus etunicatum (Bioorganics)

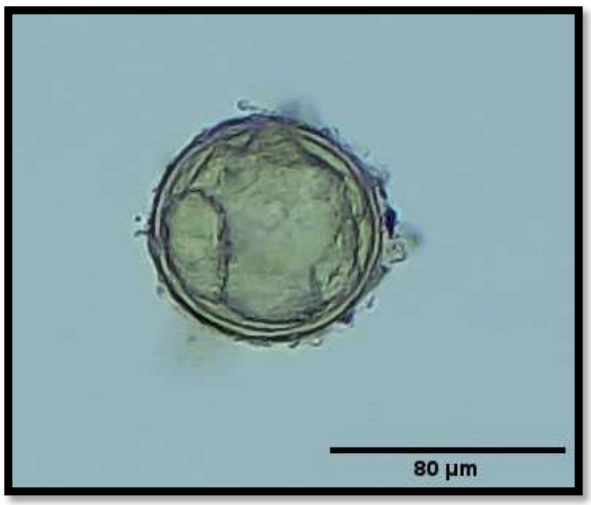
Glomus desertícola (Bioorganics)

Rhizophagus irregularis
(Mycobliss)

Funneliformis mosseae
(Mycobliss)



Funneliformis mosseae
(Dynomyco)



Glomus desertícola
(Bioorganics)

Anexo 15. Análisis de correlación entre las Unidades SPAD y variables de rendimiento en cultivo de frijol.

Coeficientes de correlación

Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	Unidades SPAD (Clorofila)	Peso fresco parte aerea	Peso fresco raiz	No. vainas/planta	Peso de vainas gramos	No. granos / vaina
Unidades SPAD (Clorofila)	1.00	0.58	0.44	0.61	0.32	0.72
Peso fresco parte aerea	-0.13	1.00	0.38	0.08	0.32	0.14
Peso fresco raiz	-0.18	0.21	1.00	0.65	0.55	0.27
No. vainas/planta	-0.12	0.40	0.10	1.00	0.02	0.15
Peso de vainas gramos	0.23	0.23	0.14	0.51	1.00	0.12
No. granos / vaina	0.09	0.35	-0.26	0.33	0.36	1.00