



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN

## CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

“EFECTO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE FRÉJOL  
(*Phaseolus vulgaris* L.), IBARRA, IMBABURA.”

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

### **AUTORA:**

Amanda Raquel Campues Alvear

### **DIRECTORA:**

Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba PhD.

Ibarra, 2023

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“EFECTO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE  
FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), IBARRA, IMBABURA”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación  
como requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

APROBADO:

Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD.



**DIRECTOR**

FIRMA

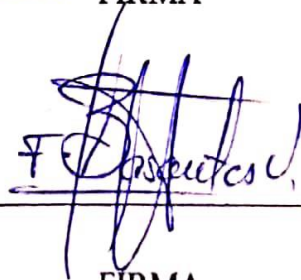
Ing. Lucía Del Rocio Vásquez Hernández, PhD.



**MIEMBRO TRIBUNAL**

FIRMA

Ing. Telmo Fernando Basantes Vizcaíno, MSc.



**MIEMBRO TRIBUNAL**

FIRMA



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100365056-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Amanda Raquel Campues Alvear		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Barrio "La Campiña"		
EMAIL:	arcampuesa@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0981890223

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EFECTO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE FRÉJOL ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.), IBARRA, IMBABURA.
AUTORA:	Amanda Raquel Campues Alvear
FECHA: DD/MM/AAAA	22/06/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
DIRECTORA:	Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba PhD.

#### 2. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de junio de 2023

LA AUTORA:

Firma.....

Nombre: Amanda Raquel Campues Alvear

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Amanda Raquel Campues Alvear, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 22 días del mes de junio del 2023



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Magali Anabel Cañarejo Antamba", is written over a horizontal line.

Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba PhD.

DIRECTOR DE TESIS

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA-UTN

**Fecha:** Ibarra, a los 22 días del mes de junio del 2023

**Nombres y Apellidos:** “EFECTO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE FRÉJOL (*Phaseolus vulgaris* L.), IBARRA, IMBABURA” Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 22 días del mes de junio del 2023 101 páginas.

**DIRECTOR (A):**

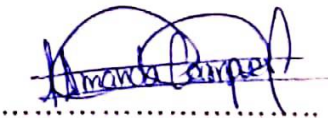
El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de micorrizas arbusculares en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), Ibarra, Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar la eficacia de tres gramíneas (*Triticum vulgare*, *Hordeum vulgare* y *Avena sativa*) en la multiplicación de micorrizas arbusculares utilizando el método de cultivo trampa.
- Establecer la productividad del cultivo de fréjol bajo la aplicación de un sustrato a base de micorrizas arbusculares.
- Analizar los resultados económicos del cultivo de fréjol bajo los tratamientos en estudio.



Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba PhD.

**Directora de Trabajo de Grado**



Amanda Raquel Campes Alvear

**Autora**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer primeramente a Dios por guiarme y brindarme las fuerzas para lograr mi objetivo en esta etapa de mi vida.*

*De igual manera agradecer a mis padres Yolanda Alvear y Nelson Campues por siempre darme su apoyo incondicional y aliento para seguir adelante con mis estudios.*

*A mi pareja Fernando por ser un gran compañero, por su amor y apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera universitaria por sus consejos y palabras de aliento para no perder de vista mi objetivo.*

*A mis hermanos Lauri, Isra y Naty por ayudarme en la parte práctica del desarrollo de la tesis.*

*A mis suegros María Elena Mora y Jaime Ñacato por su apoyo y palabras de aliento en mi etapa estudiantil.*

*A Patricio Nagi y David Zacarias por su apoyo en el levantamiento del vivero.*

*A mi Tía Amparo Alvear y su esposo Augusto Ibarra por su apoyo en la parte del cultivo de fréjol.*

*Un Agradecimiento a mi directora de tesis la Doctora Magali Anabel Cañarejo Antamba, por su ayuda y guías para poder desarrollar y culminar con un buen trabajo de tesis.*

*Y por último agradezco a mi hija Sarita, la luz de mi vida, mi proyecto más grande de vida, ella vino a darme fuerzas para seguir adelante y una inspiración para poder terminar mi carrera y poder brindarle lo mejor del mundo.*

***Amanda Raquel Campues Alvear***

## **DEDICATORIA**

*Este logro se lo quiero dedicar a mis padres Yolanda Alvear y Nelson Campues que gracias a ellos y a su esfuerzo pude iniciar mi carrera universitaria.*

*Quiero dedicar este logro a mi pareja Fernando que siempre estuvo a mi lado en cuanto se trató de mis estudios siempre me apoyó a seguir adelante y cumplir mis objetivos.*

*Dedico esto logro a mis hermanos Lauri, Isra y Naty que me ayudaron en cuanto pudieron.*

*Quiero dedicar este logro al resto de mi familia que estuvo involucrada en la parte práctica de mi tesis sin su apoyo no lo habría logrado.*

*Y Finalmente dedico este logro a mi hija Sarita, por llenarme con su amor incondicional y por permitirme ser su madre.*

***Amanda Raquel Campues Alvear***

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	8
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I.....	15
INTRODUCCIÓN .....	15
1.1.Antecedentes.....	15
1.2 Problema de investigación.....	17
1.3 Justificación.....	18
1.4 Objetivos .....	20
1.4.1 Objetivo general.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
1.5 Hipótesis.....	20
CAPÍTULO II .....	21
MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Las micorrizas en la agricultura.....	21
2.2. Hongos micorrizas .....	22
2.3. Principales tipos de micorrizas .....	23
2.3.1 Ectomicorrizas .....	23
2.3.2. Endomicorrizas .....	24
2.3.3. Ectoendomicorrizas .....	25
2.4. Multiplicación de micorrizas: cultivos trampa .....	25
2.5. Asociación de los hongos micorrizas con las plantas .....	27
2.6. Aislamiento e identificación de hongos micorrizas .....	27
2.6.1. Extracción de esporas .....	27
2.6.2.. Triturado de muestras .....	28
2.6.3. Tamizado de material mezclado .....	28
2.6.4. Lavado.....	28
2.6.5. Decantado en tamices .....	29
2.6.6. Separado de Material Orgánico .....	29
2.6.7. Tinción de raíces .....	29
2.7. Importancia del fréjol.....	31
2.8. Composición nutricional del grano del fréjol .....	31
2.9. Variedad paragachi .....	32
2.9.1. Características agronómicas de la variedad Paragachi .....	32



2.10. Producción de fréjol en el Ecuador .....	32
2.11. Marco legal .....	33
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>34</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>34</b>
3.1. Descripción del área de estudio .....	34
3.2 Materiales .....	35
3.3 Métodos .....	36
3.3.1. Fase 1 (Vivero) .....	36
3.3.8. Fase 2 (Campo).....	42
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>54</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>54</b>
4.1. Conteo de esporas de micorrizas arbusculares .....	54
4.2. Porcentaje de invasión con tinción de raíces .....	57
4.3. Porcentaje de Germinación .....	59
4.4. Altura de la planta .....	61
4.5. Número de flores por planta .....	63
4.6. Conteo de esporas de micorrizas en el cultivo de fréjol.....	64
4.7. Número de vainas por planta.....	66
4.8. Peso de 100 granos.....	68
4.9. Rendimiento .....	69
4.10. Análisis Financiero.....	71
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
5.1 Conclusiones .....	74
5.2 Recomendaciones .....	75
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de colonizacion de micorriza en las plantas.....	21
Figura 2 Ejemplo de hongo de micorriza.....	22
Figura 3 Ejemplo de ecto y endo micorrizas.....	24
Figura 4 Cultivos trampa.....	26
Figura 5 Mapa base del barrio Romerillo Bajo.....	34
Figura 6 Distribución de los tratamientos en vivero (BCA).....	37

Figura 7 <i>Conteo de esporas de micorrizas arbusculares en laboratorio</i> .....	39
Figura 8 <i>Proceso de tincion de raices en laboratorio</i> .....	40
Figura 9 <i>Lugares de recoleccion de suelo (Páramo, Bosque y Agricola)</i> .....	41
Figura 10 <i>Mezcla de suelos con arena esteril para el sustrato</i> .....	41
Figura 11 <i>Cultivos trampa</i> .....	42
Figura 12 <i>Distribución de los tratamientos en campo (DBCA)</i> .....	44
Figura 13 <i>Medidas de la unidad experimental, parcela neta y distancias de siembra</i> .....	44
Figura 14 <i>Conteo de esporas de micorrizas del suelo de cultivo de fréjol</i> .....	46
Figura 15 <i>Germinación de semilla de fréjol</i> .....	47
Figura 16 <i>Toma de altura del fréjol</i> .....	47
Figura 17 <i>Conteo de número de flores por planta</i> .....	48
Figura 18 <i>Peso de 100 granos de fréjol</i> .....	49
Figura 19 <i>Toma de muestra para analisis de suelo</i> .....	49
Figura 20 <i>Diseño de parcelas en campo</i> .....	50
Figura 21 <i>Siembra de fréjol</i> .....	51
Figura 22 <i>Control de malezas y aporque</i> .....	52
Figura 23 <i>Cosecha de fréjol</i> .....	53
Figura 24 <i>Análisis de medias para conteo de esporas de micorrizas arbusculares</i> .....	55
Figura 25 <i>Número de esporas en relación a las gramíneas</i> .....	56
Figura 26 <i>Porcentaje de invasión en relación a la gramínea</i> .....	58
Figura 27 <i>Porcentaje de germinación en relación a días después de la siembra</i> .....	61
Figura 28 <i>Altura en relación a días después de la siembra</i> .....	62
Figura 29 <i>Número de flores por planta en relación con los días después de la siembra</i> .....	64
Figura 30 <i>Conteo de esporas en relación a la etapa fenológica</i> .....	66
Figura 31 <i>Número de vainas por planta en relación a los tratamientos</i> .....	67

Figura 32 <i>Peso de 100 granos en relación a los tratamientos</i> .....	69
Figura 33 <i>Rendimiento en relación a los tratamientos</i> .....	70
Figura 34 <i>Relación costo beneficio de los tratamientos en estudio</i> .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Composición del fréjol</i> .....	31
Tabla 2 <i>Materiales, herramientas, insumos y reactivos</i> .....	35
Tabla 3 <i>Factores en estudio de la multiplicación de HMA</i> .....	36
Tabla 4 <i>Tratamientos a evaluarse de la multiplicación de micorrizas</i> .....	37
Tabla 5 <i>El ADEVA para el diseño de bloques completos al azar</i> .....	38
Tabla 6 <i>Factor en estudio</i> .....	43
Tabla 7 <i>Tratamientos a evaluarse</i> .....	43
Tabla 8 <i>El ADEVA para el diseño de bloques completos al azar</i> .....	45
Tabla 9 <i>ADEVA del conteo de esporas de micorrizas arbusculares</i> .....	54
Tabla 10 <i>ADEVA del porcentaje de invasión</i> .....	57
Tabla 11 <i>ADEVA del conteo de esporas de micorrizas arbusculares</i> .....	60
Tabla 12 <i>ADEVA del conteo de la altura de la planta</i> .....	62
Tabla 13 <i>ADEVA del número de flores por planta</i> .....	63
Tabla 14 <i>ADEVA del conteo de esporas de micorrizas arbusculares</i> .....	65
Tabla 15 <i>ADEVA del número de vainas por planta</i> .....	67
Tabla 16 <i>ADEVA del peso de 100 granos</i> .....	68
Tabla 17 <i>ADEVA del rendimiento</i> .....	70
Tabla 18 <i>Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas</i> .....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Levantamiento del vivero para la multiplicación de micorrizas</i> .....	86
Anexo 2: <i>Interior de vivero</i> .....	86

Anexo 3: <i>Esterilización de arena a baño maría</i> .....	87
Anexo 4: <i>Arena dentro del tanque</i> .....	87
Anexo 5: <i>Pesado de las fundas con el sustrato</i> .....	88
Anexo 6: <i>Siembra de gramíneas</i> .....	88
Anexo 7: <i>Germinación de los primeros tratamientos</i> .....	89
Anexo 8: <i>Riego en los cultivos trampa</i> .....	89
Anexo 9: <i>Distribución de tratamientos en vivero</i> .....	90
Anexo 10: <i>Siembra de fréjol en campo</i> .....	90
Anexo 11: <i>Cosecha de fréjol en campo</i> .....	91
Anexo 12: <i>Visita de campo segunda reunión científica</i> .....	91
Anexo 13: <i>Pesaje del fertilizante químico para los tratamientos</i> .....	92
Anexo 14: <i>Toma de variables en campo</i> .....	92
Anexo 15: <i>Conteo de micorrizas de muestra de suelo del fréjol</i> .....	93
Anexo 16: <i>Pesaje de las muestras de suelo del cultivo de fréjol para laboratorio</i> .....	93
Anexo 17: <i>Cajas Petri con muestras de suelo para conteo de esporas</i> .....	94
Anexo 18: <i>Lugar de siembra del fréjol</i> .....	94
Anexo 19: <i>Análisis de suelos</i> .....	95 y 96
Anexo 20: <i>Tablas de costos</i> .....	97, 98 y 99

# EFECTO DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN EL CULTIVO DE FRÉJOL

(*Phaseolus vulgaris* L.), IBARRA, IMBABURA

**Autora:** Amanda Raquel Campues Alvear

Universidad Técnica del Norte

[arcampuesa@utn.edu.ec](mailto:arcampuesa@utn.edu.ec)

## RESUMEN

El fréjol es una leguminosa de alto consumo en Latinoamérica y es considerado parte de la seguridad alimentaria de la población ecuatoriana. Una alternativa de la agricultura orgánica es la utilización de hongos formadores de micorrizas, por su absorción efectiva de nutrientes y agua del suelo, así como la captación del fósforo y otros micros elementos. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de micorrizas arbusculares en el cultivo de fréjol. La fase experimental se realizó en dos etapas: la primera fue en vivero con la multiplicación de esporas de micorrizas arbusculares en tres sustratos y tres gramíneas y contó con 9 tratamientos. La segunda etapa consistió en la implementación del cultivo de fréjol para la aplicación del sustrato de micorrizas y contó con cinco tratamientos el T1 (100 g sustrato micorriza y 50% de fertilización química), T2 (100 g sustrato micorriza y 25% fertilización química), T3 (100% fertilización química), T4 (100 g sustrato de micorrizas) y el T5 (testigo absoluto). Los resultados evidenciaron que el tratamiento que presentó los más altos valores en las variables de la primera etapa fue el T5 compuesto por sustrato de páramo y la gramínea cebada, el cual se lo tomo para aplicación en el cultivo de fréjol. Continuando a la segunda etapa se observó que, en cuanto a rendimiento el mejor fue el T3 con (5.75 T ha<sup>-1</sup>), seguido del T4 con (4.26 T ha<sup>-1</sup>). Se concluyó que la aplicación de micorrizas arbusculares si afectó positivamente la productividad del cultivo de fréjol, dando como resultado un rendimiento de 4.06 T ha<sup>-1</sup>.

**Palabras claves:** hongos, agricultura orgánica, cultivos trampa, gramíneas, sustrato.

**EFFECT OF ARBUSCULAR MYCORRHIZES ON BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.),  
IBARRA, IMBABURA**

**Autora:** Amanda Raquel Campues Alvear

Universidad Técnica del Norte

[arcampuesa@utn.edu.ec](mailto:arcampuesa@utn.edu.ec)

**ABSTRACT**

Beans are a highly consumed legume in Latin America and are considered part of the food security of the Ecuadorian population. An alternative in organic agriculture is the use of mycorrhizae-forming fungi, due to their effective absorption of nutrients and water from the soil, as well as the uptake of phosphorus and other microelements. The objective of this research was to evaluate the effect of arbuscular mycorrhizae on bean crops. The experimental phase was carried out in two stages: the first was in the nursery with the multiplication of arbuscular mycorrhizal spores in three substrates and three grasses and included 9 treatments. The second stage consisted of the implementation of the bean crop for the application of the mycorrhizal substrate and included five treatments: T1 (100 g mycorrhizal substrate and 50% chemical fertilization), T2 (100 g mycorrhizal substrate and 25% chemical fertilization), T3 (100% chemical fertilization), T4 (100 g mycorrhizal substrate) and T5 (absolute control). The results showed that the treatment that presented the highest values in the variables of the first stage was T5, composed of moor substrate and barley grass, which was taken for application to the bean crop. Continuing to the second stage, it was observed that, in terms of yield, the best was T3 with (5.75 T ha<sup>-1</sup>), followed by T4 with (4.26 T ha<sup>-1</sup>). It was concluded that the application of arbuscular mycorrhizae did positively affect the productivity of the bean crop, resulting in a yield of 4.06 T ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** fungi, organic agriculture, trap crops, grasses, substrate.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El fréjol es una leguminosa de alto consumo en los países de Latinoamérica y considerado parte de la seguridad alimentaria de la población (Matute 2013). En el Ecuador, el cultivo de fréjol se lo produce en las provincias del Carchi, Imbabura, Chimborazo y Bolívar que son parte de la región Sierra, en estas provincias es común la presencia de climas fríos que favorecen el desarrollo de este cultivo (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2010). En el 2015 la producción anual de fréjol seco a nivel nacional fue de 1447 toneladas y las ventas alcanzaron un total de 931 toneladas, cifras que demuestran la importancia de la producción de esta leguminosa y su aporte en la economía del país (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015).

Desde el punto de vista nutricional, el fréjol aporta un contenido de proteínas entre un 14 a 33 % y de carbohidratos entre 52 a 76 g por cada 100 g de fréjol (Fernández y Sánchez, 2017). Es importante resaltar que cada 100 g de proteína de fréjol contiene 6.4 a 7.6 g de lisina y 5.3 a 8.2 g de fenilalanina más tirosina, por lo que es importante en la dieta diaria de las personas (Ormaza, 2018). El Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura (2021), menciona los requerimientos nutricionales del cultivo de fréjol que son N de 20-40, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de 60-80, K<sub>2</sub>O de 20-40, S de 15-20 y Ca 400 kg ha<sup>-1</sup> y que estos tienden a variar según el tipo de suelo, las variedades de semilla y los factores de manejo, es necesario conocer estos requerimientos del cultivo para poder realizar una buena fertilización.

Para el cultivo de fréjol, el nitrógeno y el fósforo son los elementos que más intervienen en la producción del mismo, es necesario resaltar que la aplicación de estos nutrientes en el cultivo es limitada principalmente por sus altos costos, la baja absorción de la planta y por el alto nivel de contaminación, razones por las que se buscan aplicar formas de fertilización amigables con el medio ambiente y que sean capaces de mantener los niveles en su rendimiento y que no pierdan su calidad (Gonzales, 2012).

Según Jácome, Peñarete y Daza (2013), en su investigación de fertilización orgánica e inorgánica en fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en suelos de tipo inceptisol con propiedades ándicas, sus resultados demostraron que la aplicación combinada del fertilizante inorgánico con el lombricompost en el tratamiento T3 (mezcla de lombricompost más fertilizante inorgánico en dosis de 5 Mg ha<sup>-1</sup> y 300 kg ha<sup>-1</sup>) con altura de 1.61 m logró alcanzar un mayor resultado y un excelente rendimiento con 0.42 T ha<sup>-1</sup> con respecto a T1 (lombricompost 5 Mg ha<sup>-1</sup>), T2 (fertilizante inorgánico 10-30-10, 300 kg ha<sup>-1</sup>) y T4 (testigo absoluto), demostrando así que simplemente con la combinación de fertilizantes químicos con orgánicos es suficiente para poder recuperar progresivamente el suelo.

Una alternativa de agricultura orgánica es la utilización de microorganismos simbióticos, como son los hongos formadores de micorrizas se caracteriza por la capacidad de absorber eficazmente los nutrientes y el agua del suelo y juega un papel importante en la absorción de oligoelementos como el fósforo (Montiel y Días, 2011).

Zavala (2011), explica para plantas que crecen en suelos que no se encuentran aptos para instalar un cultivo ya sea por presentar un pH ácido o porque cuenta con una baja fertilidad, la aplicación de hongos micorrícicos es favorable para que el suelo pueda absorber los nutrientes necesarios principalmente el fósforo, el cual es absorbido especialmente por esta técnica biológica. Por lo tanto, la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares es muy eficiente ya que son simbioses obligados y estos se asocian con más del 80% de las plantas, además dependen del carbono procedente de la planta huésped y le ayudan en la absorción de nutrientes esenciales como P, N, Zn y Cu (Bonfante y Genre, 2010).

Triviño (2017), menciona en su investigación titulada Evaluación de los productos comerciales Huxtable® y Micorrizar® como biofertilizantes en el cultivo de fréjol caupí (*Vigna unguiculata* L.) que se obtuvieron resultados sobresalientes con la aplicación del producto Huxtable, cabe recalcar que son productos inoculantes de micorrizas arbusculares, los resultados que más resaltan son la altura que fue de 102 cm en comparación al testigo que fue de 90 cm esto al final de ciclo del cultivo.

Según Riera y Medina (2005), en su investigación Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bacterianas y su efecto sobre los rendimientos en secuencias de cultivos se demuestra



que la aplicación de micorrizas ayuda al incremento de las poblaciones bacterianas mientras sean aplicadas con mayor frecuencia, de igual manera se observa un aumento en el rendimiento del cultivo de fréjol ya que en el primer año presentó un total de 1,45 T ha<sup>-1</sup> y en el segundo año fue de 1,72 T ha<sup>-1</sup>, con una diferencia de 18,62% en su rendimiento.

González y Núñez (2012), indican en su investigación de aplicación de *Rhizobium* y Micorriza en el crecimiento del fréjol, se observa que la aplicación de *Rhizobium* con micorrizas favorece a la altura de las plantas ya que el tratamiento que tuvo esta aplicación reflejó una altura de 54 cm en comparación al testigo que fue de 24 cm dando como resultado que el *Rhizobium* y las micorrizas optimizan el proceso de fijación de nitrógeno atmosférico, la absorción de nutrientes y, por lo tanto, estimulan el desarrollo y aumentan el potencial productivo de las plantas.

## **1.2 Problema de investigación**

Si bien la causa del uso de agroquímicos es que aumenta la rentabilidad de los sistemas de producción, es necesario tener en cuenta su efecto en el medio ambiente en cuanto a la calidad del suelo la cual se está deteriorando debido al uso descontrolado de productos agroquímicos por parte de los agricultores, lo que conduce a una disminución de la fertilidad del suelo. La aplicación de agroquímicos en el ecosistema terrestre afecta a los microbios y sus actividades, y las consecuencias pueden ser cambios en los procesos biológicos que son importantes para la fertilidad y producción de cultivos (Izquierdo, 2017).

Los productos que se utilizan en las actividades agrícolas son los principales contaminantes del medio ambiente, ya que causan la degradación de los suelos y la contaminación de agua y aire, los causantes de esto son los químicos que contienen, los cuales son utilizados por elevar el rendimiento en la producción agrícola (Noda, 2009).

Silva y Correa (2009), indican que hay que tener en cuenta la cantidad nutrientes que la planta va absorber o la eficiencia de los fertilizantes ya que de las cantidades recomendadas la planta absorberá solo el 50 al 60 % de N, del 20 al 30% en P y el 60% de K y el resto del fertilizante atravesará en las capas de suelo llegando así al manto freático, y se filtrará para contaminar ríos o se perderá como gases contaminantes.

Es necesario hacer énfasis en los daños que causan los excedentes de fertilizantes en el suelo, entre los principales daños se puede observar infertilidad por sus altos niveles de nutrientes ya que saturan el suelo y anulan la efectividad de otros nutrientes, otros fertilizantes contienen ácido sulfúrico y clorhídrico que provocan cambios en el pH y en el crecimiento de microorganismos benéficos (Castelán y López, 2017).

De igual manera es necesario tener en cuenta la absorción del suelo, en cuanto a los fertilizantes compuestos de fósforo al ser agregados al suelo en altas dosis, causan toxicidad por cadmio, y al agregar altas dosis de nitrógeno causa contaminación de las aguas subterráneas, sin embargo, las propiedades del suelo tales como pH, textura y materia orgánica del mismo modo pueden afectar el coeficiente de adsorción (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

### **1.3 Justificación**

A causa del deterioro del suelo, la necesidad de nutrientes del cultivo de fréjol se ve en aumento, es por ello que los agricultores están optando por métodos de fertilización menos incidentes, como son la fertilización orgánica y técnicas biológicas para poder evitar el deterioro del ambiente (Quishpe, 2010).

Las micorrizas arbusculares son una alternativa biológica que está siendo estudiada por sus beneficios en cuanto a absorción de nutrientes y recuperación del suelo, se ha llegado a considerarlas biofertilizantes por su capacidad de suministrar a la planta huésped nutrientes, agua y protección contra diferentes patógenos a cambio estas actúan en beneficio propio ya que de igual manera se benefician de productos fotosintéticos que produce la planta (Berruti y Lumini, 2012).

La aplicación de alternativas biológicas es importante para una mejor absorción de nutrientes, niveles más altos de producción de hormonas y clorofila, vida más prolongada de las raíces, tolerancia al estrés (abiótico y biótico), mejores condiciones del suelo (Mohammadi et al., 2011).

Los hongos micorrícicos arbusculares ayudan a la recuperación del suelo por su habilidad de capturar nutrientes como fósforo, nitrógeno, azufre y micronutrientes del suelo y brindan una

estabilidad en los ecosistemas donde el suelo presenta condiciones extremas de desgaste (Restrepo, Montoya y Henao, 2019).

Es preciso señalar que los hongos micorrícicos arbusculares brindan diferentes beneficios a las plantas en las que son inoculados, entre ellos está la capacidad de estimular un mayor crecimiento y una excelente producción de semillas, todo esto gracias a la adhesión de fósforo y otros nutrientes (Garzón, 2015).

Reinoso (2014), demuestra en su investigación que la inoculación de micorrizas en los cultivos contribuyen a mejorar el crecimiento vegetativo, esto le garantiza al cultivo un mejor índice de sobrevivencia igualmente contribuyen al prendimiento de los cultivos lo que se demuestra ya que presentaron un menor estrés al momento del trasplante, esta fase es decisiva en un cultivo y la aplicación de micorrizas arbusculares disminuyen el riesgo de perder el cultivo por el estrés de trasplante que sufre la planta.

En la presente investigación se plantea el uso de las micorrizas arbusculares como biofertilizantes para brindar a la planta microorganismos benéficos que cooperen en la absorción de los nutrientes y agua, como se conoce la planta no absorbe la cantidad total de fertilizante químico agregado al suelo, el restante es causante de contaminación al suelo, agua y aire, es por esta razón que se busca incentivar el uso de microorganismos.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de micorrizas arbusculares en el cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.).

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la eficacia de tres gramíneas (*Triticum vulgare*, *Hordeum vulgare* y *Avena sativa*) en la multiplicación de micorrizas arbusculares utilizando el método de cultivo trampa.
- Establecer la productividad del cultivo de fréjol bajo la aplicación de un sustrato a base de micorrizas arbusculares.
- Analizar los resultados económicos del cultivo de fréjol bajo los tratamientos en estudio.

## 1.5 Hipótesis

- **Ho:** la influencia de micorrizas arbusculares no afecta en la productividad del cultivo de fréjol
- **Ha:** la influencia de micorrizas arbusculares si afecta en la productividad del cultivo de fréjol.

## CAPÍTULO II

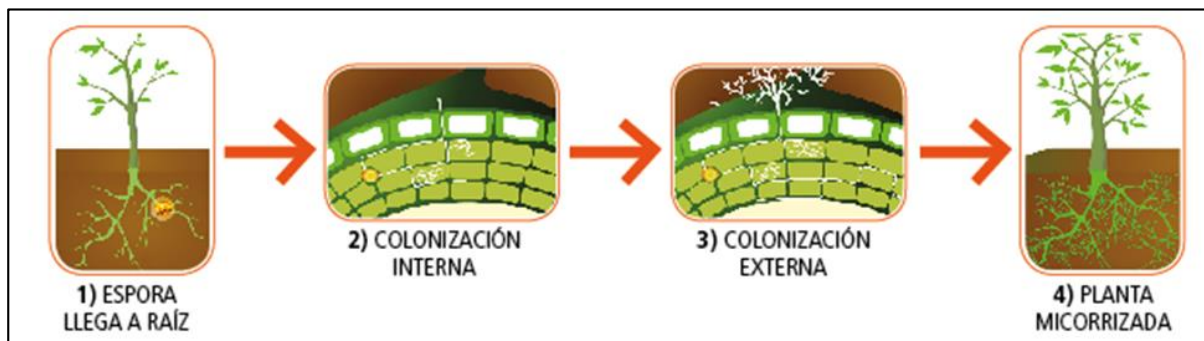
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Las micorrizas en la agricultura

La micorriza cumple una función clave en la agricultura sostenible ver (Figura 1). En el prefacio del libro *Mycorrhizae in sustainable agricultura* se concluye que, si el objetivo es reducir los insumos químicos por razones ambientales y de salud, los hongos micorrízicos y otros microorganismos benéficos deben alcanzar niveles altos de disponibilidad para compensar la reducción de insumos. Esta estrategia coincide con el punto de vista de que el grado de empobrecimiento o desaparición de la microflora MA (Micorrizas Arbusculares) es un indicador del descenso en estabilidad del sistema planta-suelo, de la misma forma que el nivel de estrés causado por las prácticas culturales es una medida de sostenibilidad de la agricultura (Días, 2014).

#### Figura 1

*Ejemplo de colonización de micorriza en las plantas tomado de Red agrícola (2017)*



Los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízico resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de hongos MA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo. La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces (Blandón y García 2012). Los beneficios económicos se derivan de una mayor y más uniforme producción, una mayor rapidez de crecimiento y entrada en

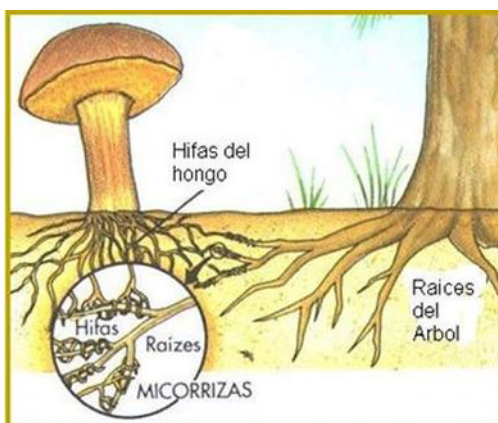
producción de las plantas, una mejor calidad de la cosecha y un ahorro en fertilizantes, riego y productos fitosanitarios (Hernández, 2004).

## 2.2. Hongos micorrizas

Se denomina micorrizas a las asociaciones simbióticas mutualistas existente entre los hongos del suelo y raíces de plantas superiores. Se trata de una asociación simbiótica puesto que los hongos se benefician con el suministro de fuentes carbonadas provenientes de la planta, mientras que esta última se beneficia por la mayor cobertura de suelo a nivel de raíces facilitada por los hongos, aumentando la capacidad de absorción de nutrientes minerales ver (Figura 2) (Holguín, 2015).

### Figura 2

*Ejemplo de hongo de micorriza tomado de Álvaro, (2019)*



Los hongos micorrízicos arbusculares dependen de la planta para el suministro de carbono, energía y de un nicho ecológico, a la vez que entregan nutrimentos minerales (especialmente los poco móviles como el fósforo); además le imparten otros beneficios como: estimulación de sustancias reguladoras de crecimiento, incremento de la tasa fotosintética, ajustes osmóticos cuando hay sequía, aumento de la fijación de nitrógeno por bacterias simbióticas o asociativas, incremento de resistencia a plagas, tolerancia a estrés ambiental. Estos beneficios permiten mejorar la condición del suelo y son mediadores de muchas acciones e interacciones de la microflora y microfauna, que ocurren en el suelo, alrededor de las raíces (Bethlenfalvay y Liderman, 1992, citado por Blanco y Salas, 1996).

### **2.3. Principales tipos de micorrizas**

Existen dos clases de micorrizas de importancia para los suelos agrícolas: las ectomicorrizas y las endomicorrizas ver (Figura 3). Algunas plantas poseen las dos clases, pero muchas otras no. Las endomicorrizas se dividen en varios tipos: eríáceo (con características tanto de endomicorrizas como de ectomicorrizas), orquideáceo (infectadas por basidiomicetos) y las micorrizas vesículas arbusculares (Coyne, 2000).

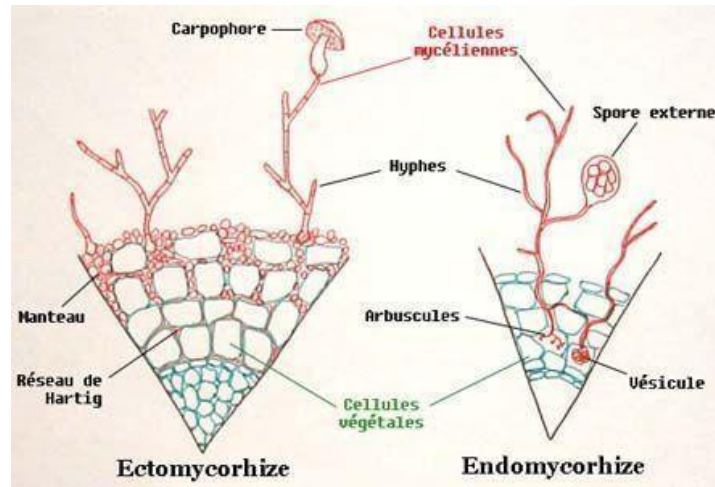
#### ***2.3.1 Ectomicorrizas***

Las simbiosis que establecen las ectomicorrizas son uniones de beneficio mutuo entre los hongos y las raíces de plantas vasculares y no vasculares. El huésped de un hongo ectomicorrizas suele ser una gimnosperma (pino o árbol de hoja perenne) (Coyne, 2000). El hongo crece entre las células de la raíz rodeándolas sin penetrarlas, formando una estructura característica la red de Hartig. Además, las raíces están rodeadas por una vaina formada por el hongo llamada manto fúngico; las hormonas que secreta el hongo provocan la ramificación de la raíz, que adopta un aspecto característico esponjoso y ramificado. El micelio se extiende mucho hacia el suelo. Los pelos absorbentes a menudo están ausentes, siendo reemplazados por las hifas fúngicas (Arbo y González, 2006).

Formadas por hongos Basidiomicetes y Ascomicetes, que desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces nutricias de la planta. Se producen principalmente sobre especies forestales y leñosas. Los principales géneros son: *Suillus*. *Cortinarius*. *Rhizopogon*. *Cenococcuyn*. *Thelepora*. *Pisolithus*. (Duchicela, 2001). Las ectomicorrizas presentan una escasa habilidad saprofítica competitiva. De esta manera, lejos de sus huéspedes, las ectomicorrizas experimentan dificultades a la hora de competir con otros microorganismos del suelo (Coyne, 2000).

### Figura 3

Ejemplo de ecto y endo micorrizas tomado de Dongho y Kedi (2022)



#### 2.3.2. Endomicorrizas

Son más frecuentes las endomicorrizas, ocurren aproximadamente en el 80% de las plantas vasculares. Las hifas de las endomicorrizas penetran las células del córtex de la raíz sin romper la plasmalema o el tonoplasto. Forman unas estructuras dendroides llamadas arbuscúlos o protuberancias llamadas vesículas, que quedan revestidas por la membrana plasmática. Las endomicorrizas se suelen llamar micorrizas V/A por la formación de estas estructuras. El hongo nunca penetra la endodermis, ni la estela, ni el meristema apical, ni la caliptra. Las hifas se extienden varios centímetros por fuera de la raíz incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos. El intercambio entre hongo y hospedante tiene lugar en los arbuscúlos que se llenan de gránulos de fosfatos (Flores,2020).

Los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical, dentro de este grupo existen tres tipos característicos: Orquídeo micorrizas: (asociadas a Orquideaceas), sus principales géneros son: Armillariella, Gymnopilus, Marasmius, Fomes, Xerotus, Corticium, Ceratobasidium, Sebacina, Tulasnella. Ericomicorrizas: ligadas a la Familia Ericáceas y con muchas similitudes estructurales con las ectoendomicorrizas. Su principal género es: Pezizella. Micorrizas Arbusculares: Caracterizadas por formar arbuscúlos intracelulares y sin duda las de mayor difusión e importancia económica y ecológica (Duchicela, 2001).



### **2.3.3. Ectoendomicorrizas**

Las Ectoendomicorrizas se caracterizan porque los hongos que las producen colonizan de forma dual las raíces de la planta: externamente formando un manto cortical e internamente penetrando intracelularmente en el córtex. El género principal es *Endogone* (Duchicela, 2001).

### **2.4. Multiplicación de micorrizas: cultivos trampa**

Al ser simbioses obligados los HMA no pueden ser cultivados en cultivos puros en ausencia de sus plantas huésped (Berruti, 2016) por lo tanto, su propagación se lleva a cabo bajo el establecimiento de cultivos trampa. Para esto se utiliza suelo a granel o mediante la mezcla de suelo y piezas de raíces de la rizosfera con diluyentes esterilizados y creciendo con huéspedes adecuados. Esto representa una de las estrategias para producir un gran número de esporas saludables que pueden ser fácilmente identificables y complementar la evaluación de la diversidad de especies locales en diferentes ecosistemas (Leal, 2009).

El establecimiento de los cultivos trampa ver (Figura 4) es fundamental para una propagación exitosa del inóculo inicial. El desarrollo de los cultivos trampa requiere de estrictos manejos, ya que diversos factores en los cultivos trampa podría impedir la propagación de todas las especies presentes en el inóculo inicial, estos factores podrían ser el tipo de suelo o sustrato. La manipulación de los cultivos y las especies de plantas empleadas para prolongar los HMA en los cultivos trampas (Yao, 2010). Además, la explotación de estos hongos en los programas aplicativos requiere que los HMA puedan adaptarse a los ecosistemas donde serán introducidos, al tipo de suelo de estos y a los acontecimientos que conducen al establecimiento de una simbiosis funcional. Incluyendo los mecanismos implicados en la transferencia de nutrientes (Berruti, 2016).

#### Figura 4

*Cultivos trampa en bandejas tomado de la colección internacional de hongos micorrícicos arbusculares (2020)*



Ya que estos son simbioses obligatorias con raíces vivas, el nivel de producción de propágulos infecciosos depende de las especies de plantas huésped (Gaur y Adholeya, 2002), así pues los anfitriones juegan un papel importante en el desarrollo de micorrizas, la formación de esporas y distribución de los hongos MA, *Trifolium repens*, *Zea mays*, *Sorgo sudannense* y *Vigna unguiculata* (Liu y Wang, 2003; López, 2009) son algunos de las plantas trampa que se pueden implementar en estos cultivos, Yao, (2010) mencionan que *Zea mays*, es la planta que muestra la mayor diversidad y riqueza de especies de hongos MA en el sustrato donde esta es cultivada.

La producción de HMA por cultivos trampa en sustrato es el más empleado, debido a su facilidad de establecimiento y bajo costo de los consumibles, además de la alta densidad de propágulos infectivos obtenidos, los cultivos trampa en sustrato son considerados como el sistema más conveniente en la producción a gran escala de los HMA (Feldmann y Grotkass, 2002).

Son diversos los esfuerzos que se han realizado para el establecimiento de cultivos trampa en sustrato que presenten una alta productividad, en cuyos esfuerzos se ha evaluado el tipo de suelo a emplear, la planta trampa idónea, el tipo de sustrato a emplear, así como las especies de HMA a propagar (Alva, 2019).

Pese a ser plantago lanceolada una de las mejores plantas trampa para fines de incrementar el número de esporas de un inóculo inicial, este no es viable para sitios con alta luz y temperaturas cálidas, así mismo su capacidad para soportar la esporulación de todos los organismos fúngicos en una mezcla de especies es muy baja según lo describen Colección internacional de cultivos de

hongos, micorrícicos arbusculares quienes también describen al sorgo y al maíz como grandes hospederos y con mayor adaptabilidad a diferentes suelos y climas (Bustamante, 2019).

## **2.5. Asociación de los hongos micorrizas con las plantas**

La planta que se elija como hospedante para propagar hongos MA puede tener una gran influencia sobre la esporulación fúngica y la formación de raíces micorrícicas y, en definitiva, sobre el nivel de inóculo resultante. Galarza (2004), enumera como características que debería tener la planta hospedante que esté bien adaptada a las condiciones bajo las que va a crecer, que sea un hospedante aceptable para las especies de hongos MA que se van a producir, que crezca rápidamente y desarrolle grandes sistemas radiculares y que no tenga ningún patógeno en común con la planta sobre la que se aplicará posteriormente el inóculo.

Además, es importante que se micorrice altamente (>50% de la longitud de la raíz), tolere las condiciones de mucha luz que requiere el hongo MA para reproducirse rápidamente y es preferible que se reproduzca a partir de semilla en vez de a partir de esquejes, ya que son más fáciles de desinfectar en masa (Montiel y Díaz, 2011).

Las plantas recomendadas para su uso como hospedantes de hongos MA para la producción de inóculo son *Nardus stricta* (Cervuno), *Coprosoma robusta* (Brillantísima), *Allium cepa* (Cebolla), *Allium porrum* (Cebollín), *Capsicum annuum* (Pimiento morron), *Fragaria spp* (Fresa), *Medicago sativa* (Alfalfa), *Trifolium spp* (Trébol), *Paspalum notatum* (Pasto bahía), *Panicum máximum* (Pasto Tanzania), *Cenchrus ciliaris* (Pasto salina), *Arachis pogaea* (Maní), *Gossypium hirsutum* (Algodón mexicano) y *Asparagus officinalis* (Esparrago) (Riera y Medida, 2005).

## **2.6. Aislamiento e identificación de hongos micorrizas**

El método de aislamiento que se utilizó en la presente investigación estuvo basado en diferentes autores que respaldan el mismo y se desglosan a continuación:

### **2.6.1. Extracción de esporas**

El procedimiento que se detalla aquí se centra en la extracción de esporas de cultivos de invernaderos (retenedores de conos, macetas profundas, macetas). En todos los distintos tipos de

macetas, se quita una porción en forma de pastel del lado que se extiende casi hasta el centro y desde la parte superior hasta la parte inferior. En todos los casos (incluidos los suelos de campo), es fundamental que se incluya una muestra representativa de raíces en la muestra porque algunas especies de todos los géneros, excepto Gigaspora, producen esporas intrarradicales.

### ***2.6.2.. Triturado de muestras***

La muestra se coloca en agua en una licuadora y se mezcla a alta velocidad durante aproximadamente cinco segundos. El propósito de este paso es romper fragmentos de raíces y liberar esporas y también separar las esporas de los agregados de hifas adheridos a las raíces o en el suelo (especialmente aquellos de especies con hifas de paredes gruesas). Los tiempos de mezcla más prolongados no afectan a las esporas, pero pueden romper las raíces hasta el punto de que es probable que las esporas estén acompañadas de detritos orgánicos más finos en la preparación de la extracción final.

### ***2.6.3. Tamizado de material mezclado***

El material mezclado se vierte inmediatamente a través de dos tamices. La mayor parte de la arena permanece en la licuadora. El tamiz inferior tiene aberturas de 38, 45 o 53  $\mu\text{m}$  (cualquiera de estos tres funciona bien para la mayoría de las especies, aunque hay algunas especies pequeñas de glomoides hialinos que requieren el tamiz de 38  $\mu\text{m}$ ). Captura la mayoría de las esporas.

El tamiz superior generalmente tiene aberturas de 500  $\mu\text{m}$ . Captura raíces, desechos grandes y esporas o esporocarpos realmente grandes. A pesar de la cantidad de material orgánico que pueda estar presente, las esporas son lo suficientemente grandes como para detectarlas fácilmente después de que el material de este tamiz se transfiera a una placa de Petri.

### ***2.6.4. Lavado***

Por lo general, no se procesa el material en el tamiz superior a través de un paso de centrifugado debido a la cantidad de detritos orgánicos. Se lava, se transfiere a una placa de Petri grande y se observa a través de un microscopio estereoscópico solo para verificar que no haya esporas presentes. El material en el tamiz inferior se recoge en un vaso de precipitados de 50 ml con un policia de goma y luego se transfiere a tubos de 50 ml que contienen una solución de sacarosa al

60% (se usa azúcar de mesa porque es económica) y agua. Estos tubos se centrifugan (aprox. 960xg) durante 2-3 minutos en un rotor de cubeta oscilante en una centrífuga de mesa. Al final de la carrera, el suelo y otras partículas sensoriales se sedimentan en el fondo del tubo. Las esporas y los detritos orgánicos finos se suspenden en sacarosa.

#### ***2.6.5. Decantado en tamices***

El sobrenadante de cada tubo se decanta rápidamente en tamices más pequeños, ya sean comerciales de acero inoxidable fabricados por Tyler o unidades caseras de dos tipos: (i) fabricados con viales de plástico con la base quitada y la malla de nailon sostenida por la tapa de plástico (con el centro removido usando un perforador de corcho calentado) y (ii) malla de nylon pegada al borde de la tubería de PVC de paredes gruesas.

#### ***2.6.6. Separado de Material Orgánico***

El material recogido en estos tamices más pequeños se lava durante 1-2 minutos con agua del grifo y se transfiere a una placa de Petri de vidrio. Las esporas se recolectan manualmente usando una pipeta de vidrio extruido de 9 pulgadas para separarlas del material orgánico.

Una vez hecho esto, se pueden almacenar a 4 °C hasta por 30 días (revisando semanalmente si hay esporas parasitadas que luego se eliminan de inmediato).

(Aguilar, 2015; Alva, 2019; Bustamante, 2019; Sáenz y Nicoya, 2017; INVAM, 2020)

#### ***2.6.7. Tinción de raíces***

Para la identificación se utilizó el método de Tinción de raíces el cual se describe a continuación:

- Cuando se toman muestras de raíces para detectar y/o medir la cantidad de colonización de micorrizas, es importante seleccionar raíces más finas y fibrosas. Las raíces más viejas o las de plantas con raíces primarias u otras raíces gruesas pueden tener algunas micorrizas, pero la colonización generalmente es escasa y consiste solo en hifas que a menudo son más visibles fuera de las raíces. Para plantas con un sistema radicular fibroso, basta con un muestreo aleatorio. Deben evitarse las raíces con pigmentos oscuros; usarlas significa pasar

por un paso adicional de decoloración (la incubación en lejía doméstica al 5 % durante 5 a 10 minutos suele ser suficiente, pero esto debe probarse empíricamente).

- Las raíces se limpian (eliminando el contenido citoplásmico de las células) usando KOH al 10% caliente. Se utilizan diferentes enfoques, desde esterilizar casetes en autoclave durante 5 a 10 minutos hasta hervirlos en un recipiente seguro en la mesa del laboratorio. Mucho depende del número de muestras a procesar simultáneamente. Por lo general, se procesa solo 10-20 muestras a la vez. Para minimizar la agitación, se hierve previamente el KOH en un vaso de precipitados grande sobre una placa calefactora de laboratorio o un mechero Bunsen, e inmediatamente se añade a casetes cuando se apaga el mechero. El tiempo de incubación varía según el grosor y la fragilidad de las raíces, pero 10 minutos suelen ser suficientes. Las raíces más viejas y gruesas requieren tiempos de incubación más prolongados. El dorado de la solución es una indicación del proceso de limpieza.
- Debido a que la mayoría de las tinciones histológicas utilizadas para este procedimiento son ácidas, es fundamental acidificar las raíces. Entonces, se lava las raíces (4 -5 x) y luego se sumerge los casetes en HCl al 2% durante 15-20 minutos. Para raíces de suelos altamente alcalinos, se recomiendan tiempos de incubación más prolongados. Si las raíces son uniformemente oscuras y las micorrizas son difíciles de ver, entonces la causa suele ser un desbroce inadecuado.
- Se vuelve a realizar el mismo procedimiento descrito anteriormente para despejar las raíces, solo que con azul directo al 0,05% o algún otro colorante adecuado (fucsina ácida, negro de clorazol E). El tinte se prepara mezclando con agua, glicerina y ácido láctico en proporciones de 1:1:1 (v/v/v). El tiempo de incubación varía, pero 3-4 minutos funcionan mejor con plantas cultivadas en invernadero. Se agrega las raíces a la solución de tinción, calentada en una mesa de laboratorio con una placa de calentamiento de laboratorio, y se apaga el calor cuando la solución hierve. Este paso se puede realizar sin aplicación de calor, pero el período de incubación debe extenderse a 12 horas.
- El contenido se vierte en otro recipiente (se puede volver a utilizar 1 o 2 veces después de filtrarla a través de una gasa) o se desecha en una botella de residuos. Se enjuagó las raíces

con 4-5 cambios de agua. Se obtiene un mayor contraste entre el tejido fúngico y las células vegetales de fondo cuando las muestras se han almacenado en agua durante una semana o más en el refrigerador (el exceso de tinción se filtra de las raíces).

(Del Carmen, 2012; Ek Chim, 2019; Pachaca, 2012; León, 2006, INVAM, 2020).

## 2.7. Importancia del fréjol

El fréjol común (*Phaseolus vulgaris*) es uno de los cultivos más viejos del nuevo mundo, y el de mayor consumo a nivel mundial (Veltcheva y Svetleva, 2005). Pertenecce a la familia de las legumbres (Fabaceae), la cual comprende 643 géneros y 18000 especies, agrupadas en 40 tribus. La tribu Phaseoleae es por mucho el grupo más importante económicamente, ya que contiene el 75% de las legumbres comercializadas en el mundo (Burbano, 2018).

## 2.8. Composición nutricional del grano del fréjol

Composición nutricional del fréjol por cada 100 gramos (Instituto Nacional de Nutrición, 1975) ver Tabla 1:

**Tabla 1**

*Composición nutricional del fréjol*

<b>Composición</b>	<b>Cantidad</b>
Humedad	9.3 g
Calorías	347 kcal
Proteína	21 g
Extracto etéreo	1.3 g
Carbohidratos totales	64.6 g
Fibra	4.4 g
Ceniza	3.8 g
Calcio	105 mg
Fósforo	396 mg
Hierro	6.3 mg
Tiamina	0.43 mg
Riboflavina	0.13 mg
Niacina	1.54 mg

## **2.9. Variedad paragachi**

Es conocida por producir una pequeña guía. La distancia de siembra de la variedad es de 30 cm entre planta y 60 cm entre surco se coloca 4 semillas por sitio. Se cosecha a los 95 – 100 días y es de alto rendimiento con valores de 0.20 T ha<sup>-1</sup>. Muestra una buena respuesta ante suelos menos fértiles y en condiciones de menor humedad, se adapta mejor en el área de Pimampiro o lugares similares. En suelos muy ricos y sin falta de humedad, puede crecer en exceso, volcarse y reducir su producción. Es menos susceptible a roya, si la enfermedad se presenta antes del llenado de vainas, se hace necesario su control. Esta variedad ha rendido experimentalmente un promedio de 1886 kg ha<sup>-1</sup> (Cevallos, 2008). Para la fertilización es necesario aplicar N, P, K y S al fondo del surco, cubrir con tierra y sembrar. Si el contenido de materia orgánica del suelo es inferior al 3%, se añaden 3 T ha<sup>-1</sup> de abono orgánico descompuesto en el momento de la siembra. La cantidad recomendada de fertilizante mineral debe ajustarse de acuerdo con el contenido de nutrientes en el fertilizante orgánico. Una recomendación general para la fertilización de esta variedad de fréjol es aplicar 200 kg ha<sup>-1</sup> del 18-46-00 (4 bolsas) al momento de la siembra, correspondientes a 36 y 92 kg ha<sup>-1</sup> de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (INIAP, 2014).

### ***2.9.1. Características agronómicas de la variedad Paragachi***

Las características de la variedad paragachi se indican a continuación:

- Hábito de crecimiento indeterminado II.
- Color de la flor rosada.
- Alta resistencia a antracnosis, resistencia intermedia a roya y mancha angular.
- La floración es a los 45 a 50 días, produce entre 9 a 18 vainas por planta.
- Color del grano rojo moteado con crema, de forma redondeado ovoide, tamaño grande.
- Adaptabilidad a zonas de los valles de Chota y Mira.
- Días a la cosecha en grano seco: 100 a 110.
- Rendimiento en grano seco: 1.400 a 2.000 Kg ha<sup>-1</sup> (24 a 44 qq ha<sup>-1</sup>) en promedio.

## **2.10. Producción de fréjol en el Ecuador**

Según datos estadísticos del INEC (2015), la producción de fréjol seco anual fue de 1447 T m (Toneladas métricas) y las ventas fueron de 931 T m. El área sembrada es de aproximadamente



166.972 mil hectáreas de fréjol seco con una producción anual de 24.000 toneladas de fréjol seco y tierno para consumo y exportación. Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP (2017), las principales provincias responsables de la producción de fréjol son: Azuay, Loja, Bolívar, Chimborazo, Morona Santiago, Napo, Manabí, Cañar, Tungurahua, Los Ríos, Cotopaxi, Pichincha y Guayas. En 2015, estas provincias, que incluyen las provincias de Sucumbíos y Santo Domingo de los Tsáchilas, produjeron aproximadamente 6.127 toneladas de fréjol seco y 9.324 toneladas de fréjol tierno en el mismo año.

El 40% del fréjol que se produce en el país se consume y el 60% restante se exporta. En Imbabura es un cultivo de importancia ya que se siembran 9 000 ha de fréjol arbustivo, en las zonas de Pimampiro, Valle del Chota y Urcuquí (Maldonado, 2022).

### **2.11. Marco legal**

La actual investigación está basada en las leyes y reglamentos que rigen en el país. Así, por ejemplo, en el Art. 14 de la Constitución de la República de Ecuador reconoce el derecho de los ciudadanos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Constitución de la República del Ecuador (2008), Art. 281 Soberanía Alimentaria, parte 8 del capítulo III menciona que los avances en innovación tecnológica deben ser fortalecidos para ayudarnos a asegurar y mantener la soberanía alimentaria.

El objetivo 12 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) - producción y consumo responsables - sugiere que se puede mejorar la eficiencia de los recursos además de promover estilos de vida sostenibles que coincidan con los estándares de vida.

Según las normas para las Buenas Prácticas Agrícolas en Hortalizas se establece en el Capítulo 4, Artículo 7 del Manual Técnico N° 0037 emitido el 6 de abril de 2015: No se utilizarán suelos que fueron destinados para actividades industriales o que impliquen la incorporación de contaminantes químicos al suelo, de igual manera se deben realizar inspecciones frecuentes en las fincas donde se detecten riesgos incontrolables que puedan representar una amenaza para la seguridad del producto, el medio ambiente o la salud humana. El análisis del suelo (físico, químico) se realizará en un laboratorio adecuado; Se recomienda el análisis microbiológico si se sospecha la presencia de microorganismos patógenos en el suelo.

## CAPÍTULO III

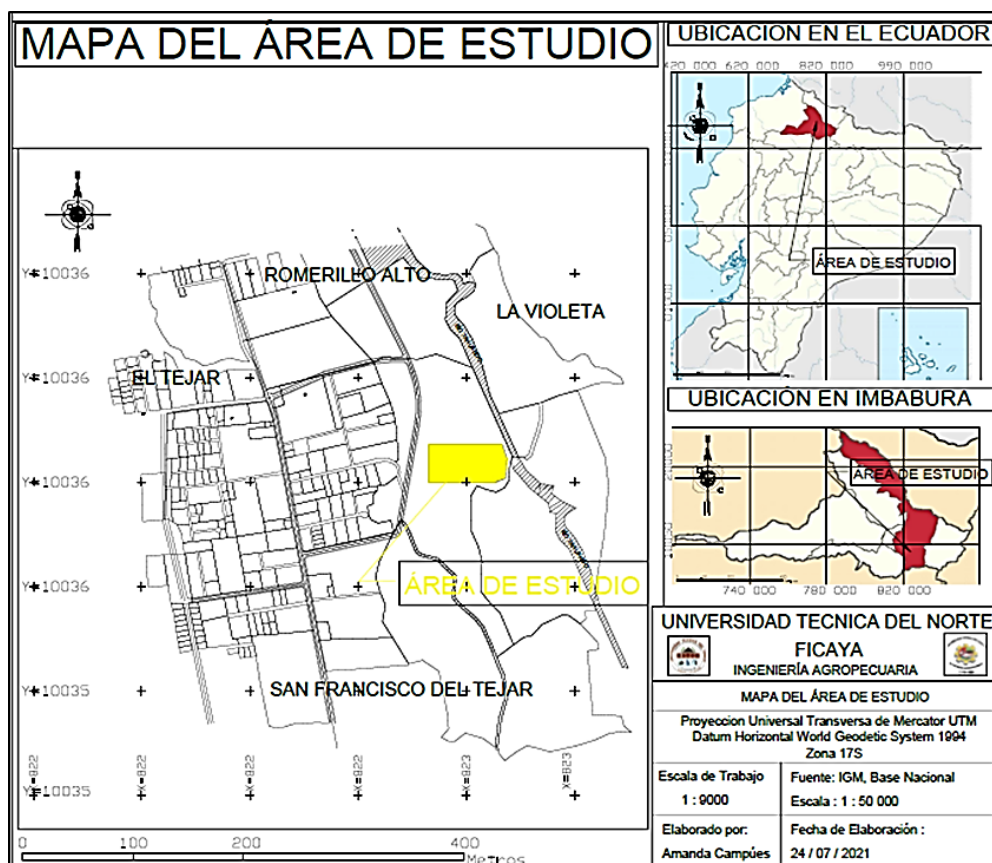
### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en un lote ubicado en el barrio Romerillo Bajo perteneciente a la parroquia San Francisco, cantón Ibarra de la provincia de Imbabura. Las características climáticas de la zona de estudio son las siguientes: una altitud de 2500 m.s.n.m, una temperatura media anual de 13 a 14 °C, una precipitación promedio de 1780 mm, y una humedad relativa del 84%. El mapa de georreferencia del lote se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Mapa base del barrio Romerillo Bajo.*



### 3.2 Materiales

- Material vegetal

Se utilizarón muestras de 100g de semillas de trigo, avena y cebada para la multiplicación de los hongos. Además como tipo de sustrato se utilizó suelo de bosque, páramo y agrícola, los cuales fueron mezclados con arena esteril en una proporción de 50:50. Las condiciones de manejo para la obtención de los sustratos fueron a temperatura ambiente.

Finalmente para la instalación del experimento en campo se utilizó una cantidad de 858g de semilla en los 429m<sup>2</sup>, y una cantidad de 100g de sustrato de micorrizas por planta de fréjol.

Los materiales utilizados tanto en la fase de obtención de sustratos enriquecidos con micorrizas, así como en el ensayo experimental del cultivo de fréjol se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Materiales, herramientas, insumos y reactivos utilizados en la implementación del ensayo experimental.*

<b>Materiales</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Insumos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Fertilizantes</b>
Fundas	Rastrillo	Semillas	de Hidróxido	de 14-14-18
Regadera	Azadón	fréjol	Potasio	Carbonato de
Baldes	Palancón	Semillas	de Ácido clorhídrico	calcio
Tijeras	Flexómetro	avena	Ácido Acético	Sulfato de
Libro	de Carretilla	Semillas	de Azul de metileno	Amonio
campo	Bomba	de cebada	Glicerina	
	fumigar	Semillas de trigo	Agua destilada	
	Tamices	Suelo de bosque	Sacarosa	
		Suelo de páramo		
		Suelo agrícola		

### 3.3 Métodos

Como se mencionó en la sección anterior, esta investigación se realizó en dos experimentos; el primero es la fase de vivero con la multiplicación de hongos micorrízicos arbusculares en gramíneas y la segunda incluye una fase en campo que evaluó la utilización de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de fréjol. Por tanto, los factores en estudio, así como las variables y el manejo del experimento se describen por fase.

#### 3.3.1. Fase I (Vivero)

Consiste en la multiplicación de hongos micorrízicos arbusculares utilizando gramíneas como cultivo trampa, con tres tipos de suelos (páramo, bosque y suelo agrícola).

#### 3.3.1 Factores en estudio en estudio en la etapa de vivero

En este experimento se planteó dos factores en estudio: factor A (Sustrato) que incluye a tres tipos de suelos y el factor B (Gramíneas) que incluye a tres gramíneas, la codificación del tipo de suelo y las gramíneas se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Factores en estudio de la multiplicación de HMA.*

<b>Factor A</b>		<b>Factor B</b>	
<b>Código</b>	<b>Identificación</b>	<b>Código</b>	<b>Identificación</b>
SP	Suelo de páramo	TG	Trigo
SB	Suelo de bosque	CV	Avena
SA	Suelo agrícola	AV	Cebada

#### 3.3.2 Tratamientos

En la fase de vivero los tratamientos evaluados fueron nueve que resultaron de la interacción entre los dos factores de estudio, los cuales se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Tratamientos a evaluarse de la multiplicación de micorrizas en la fase de vivero.*

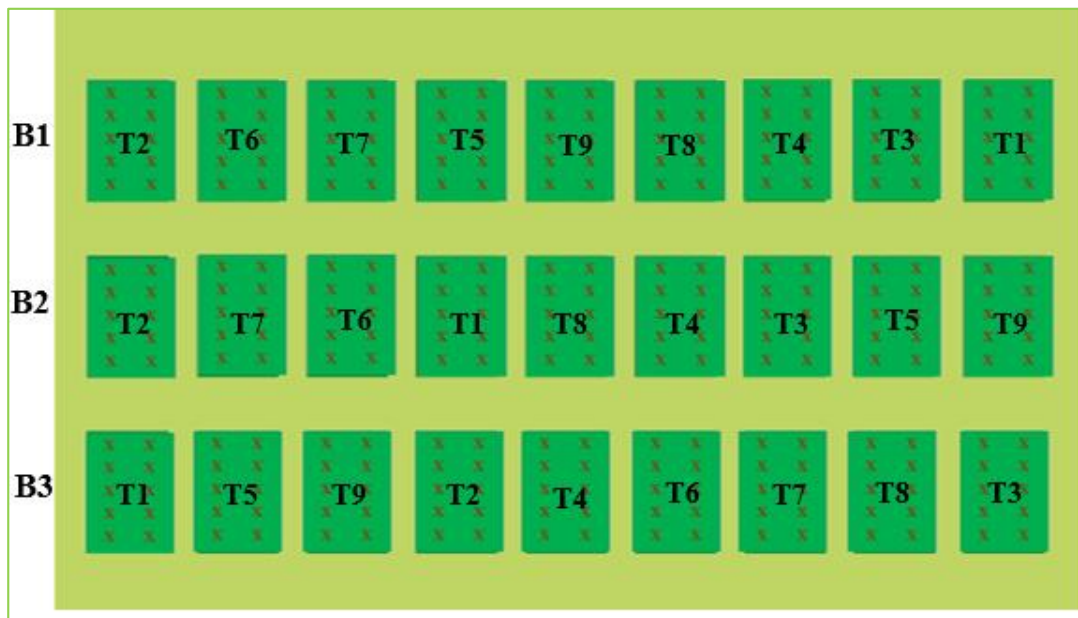
Tratamientos	Descripción	Código
T1	Sustrato bosque + Trigo	BT
T2	Sustrato páramo + Trigo	PT
T3	Sustrato agrícola + Trigo	AT
T4	Sustrato bosque + Cebada	BC
T5	Sustrato páramo + Cebada	PC
T6	Sustrato agrícola + Cebada	AC
T7	Sustrato bosque + Avena	BA
T8	Sustrato páramo + Avena	PA
T9	Sustrato agrícola + Avena	AA

### 3.3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar (BCA), con diez fundas por unidad experimental (Figura 6).

**Figura 6**

*Distribución de los tratamientos en vivero (BCA)*



### 3.3.4 Características del experimento

Los Tratamientos fueron nueve con tres bloques y 27 unidades experimentales. Se utilizaron fundas con un volumen de 1800 g, y diez por unidad experimental.

### 3.3.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron modelos lineales generales y mixtos en el software INFOSTAT versión 2020, se realizó un análisis de varianza (Tabla 5) y se utilizó la prueba de Fisher al 5% para la comparación de medias.

**Tabla 5**

*El ADEVA para el diseño de bloques completos al azar de la multiplicación de micorrizas.*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	26
Sustrato (S)	2
Gramíneas (G)	2
SxG	4
Bloques	2
Error experimental	16

### 3.3.6 Variables evaluadas

Las variables fueron evaluadas a los 100, 125 y 150 días después de la germinación de los cultivos trampa.

- Conteo de esporas de micorrizas arbusculares:

Para el conteo de esporas de micorrizas, se utilizó la metodología propuesta por INVAM (2020). Se colectó una muestra de 10g de suelo, incluidas raíces, lo cual se filtró en tamices de 425, 250 y 60 $\mu$ m, para obtener la muestra de esporas, el restante del tamiz de 60 $\mu$ m fue diluido con 5ml de solución de sacarosa. La muestra diluida se llevó a la centrifuga durante tres minutos a 3500 rpm.

Posteriormente el sobrenadante se filtró para colocar una muestra de 1 ml en la caja Petri para su respectivo conteo en el estereoscopio como se observa en la (Figura 7).

### **Figura 7**

*Conteo de esporas de micorrizas arbusculares en laboratorio*



En el conteo de esporas se utilizó dos métodos de conteo esto dependió de la alta o baja densidad de esporas, cuando existió una alta densidad de esporas se realizó el método de Campo ocular el cual trata de calcular el área del campo esférico con el aumento que se distinga a las esporas de otras partículas, y el método de Recuento directo cuando existió una baja densidad se realizó una suspensión con las esporas y se agregó 1ml a un vidrio reloj en cual se hizo el conteo directo desde un campo de visión adecuado (Pachacama, 2011).

- Porcentaje de invasión con tinción de raíces:

Para la tinción de las raíces se tomó muestras de las raíces más finas y fibrosas, seguidamente se realizó un lavado para eliminar impurezas, seguidamente se las colocó en un recipiente con hidróxido de potasio al 10% caliente por 10 minutos en este proceso de limpieza se observó una solución dorada lo cual indicaba que el desarrollo fue un éxito, a continuación se lavó las raíces y se procedió a acidificar las raíces con ácido clorhídrico al 2% por 15 minutos, seguidamente se procedió a colocarlas en la preparación de colorante que contenía azul de metileno 1 ml, ácido acético 10 ml, glicerina 15 ml y agua destilada 75 ml en esta preparación se dejó reposar a las

raíces durante 3 minutos (Del Carmen, 2012). Posteriormente se procedió a observar en el microscopio la presencia de arbusculos en las mismas, se procedió a realizar cortes de 1 cm y a colocarlos en el portaobjetos como se puede ver en la (Figura 8), para medir el porcentaje de invasión se realizó el conteo de cortes de raíces dando el total el 100% y observando si en todos los cortes existe presencia de arbusculos esto se midió como un porcentaje de 100% de invasión (Ek Chim, 2019).

### **Figura 8**

*Proceso de tincion de raices en laboratorio*



#### **3.3.7. Manejo del experimento**

Para el proceso de multiplicación de micorrizas se utilizó el procedimiento descrito por la INVAM (2020), a continuación:

Se recolectó suelo de tres espacios diferentes (páramo, bosque y agrícola), ver en la (Figura 9) estos suelos contenían raíces las cuales se mezclaron junto con la tierra previamente cortadas en pequeños trozos para preparar el sustrato.



## Figura 9

*Lugares de recolección de suelo (a: Páramo, b: Bosque y c: Agrícola)*



*Nota:* el suelo de páramo (a) se recolectó de la comunidad de Yuracruz, el suelo de bosque (b) se recolectó de la loma de guayabillas y el suelo agrícola (c) de un terreno cultivado del barrio Santa Rosa.

Los suelos de los diferentes estratos fueron combinados con arena esterilizada a baño maría en un tanque de 200l, la mezcla se realizó a una relación 50:50 ver la (Figura 10), para la preparación de un sustrato.

El sustrato se ubicó en fundas de vivero con una capacidad de seis libras, en donde se colocó el sustrato y las semillas de las gramíneas para su germinación y crecimiento.

## Figura 10

*Mezcla de suelos con arena esteril para el sustrato*



A estos cultivos de gramíneas se los dejaron cinco meses, para una correcta multiplicación de las micorrizas ver en la (Figura 11). Es importante señalar que no se aplicó ningún tipo de fertilización ni aplicación de plaguicidas o fungicidas para no dañar el sustrato.

### **Figura 11**

*Cultivos trampa en etapa de vivero*



Para la utilización del sustrato se procedió a retirar la parte aérea y las raíces fueron procesadas para el almacenamiento y utilización en la siembra del fréjol.

Para el almacenamiento se utilizó sacos de costal para posteriormente agregar el sustrato a la siembra.

#### **3.3.8. Fase 2 (Campo)**

La fase dos del presente experimento consistió en la aplicación de micorrizas arbusculares en el cultivo de fréjol.

#### **3.3.9. Factores en estudio**

En esta fase de estudio se planteó un factor constituido por dos niveles de fertilización los cuales se obtuvieron a partir del análisis de suelos, se realizó una interacción con el sustrato que presentó las mejores características según los análisis estadísticos que fue el sustrato de páramo con la gramínea cebada, en la Tabla 6 se puede observar los niveles de fertilización.

**Tabla 6***Factor en estudio*

<b>Factor</b>	
<b>Código</b>	<b>Identificación</b>
F50%	Fertilización 50%
F25%	Fertilización 25%

**3.3.10. Tratamientos**

Los tratamientos evaluados son 5 que resultaron de la interacción entre los dos niveles de fertilización y el sustrato con el mejor resultado estadístico, esto con su respectivo testigo comercial y absoluto y un tratamiento donde se estudio la micorriza sin ningún tipo de fertilización los tratamientos se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7***Tratamientos a evaluarse*

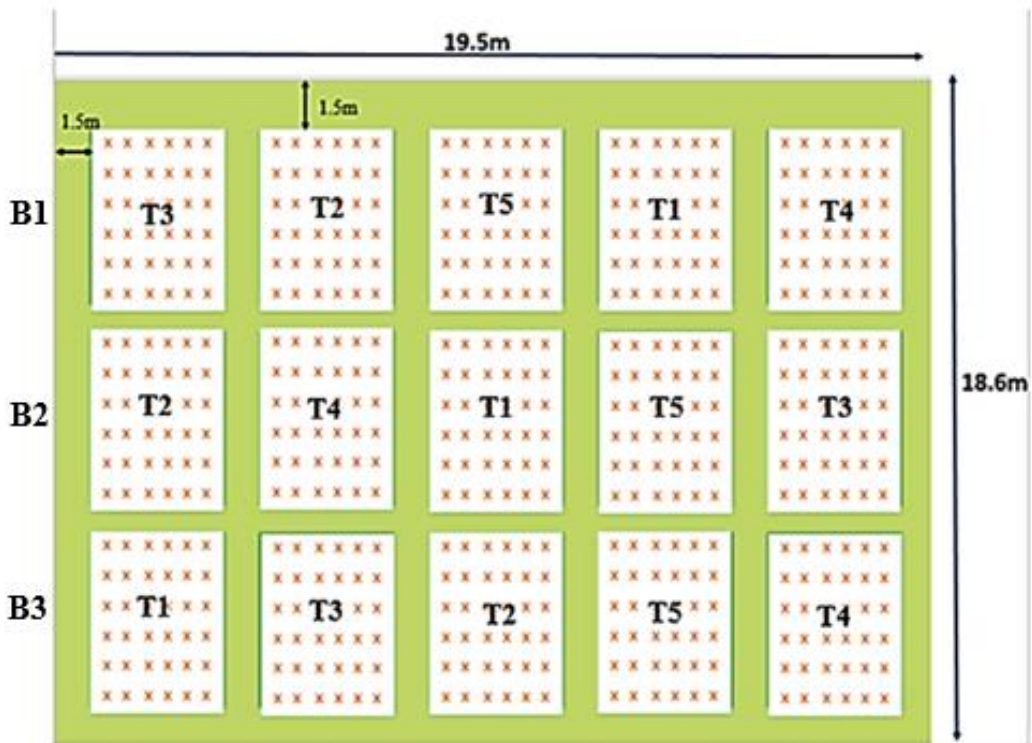
<b>Tratamientos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código</b>
T1	Sustrato Micorriza - Fertilización 50%	SP-F50%
T2	Sustrato Micorriza - Fertilización 25%	SP-F25%
T3	Testigo Comercial Fertilización 100%	TC
T4	Sustrato Micorriza	SM
T5	Testigo Absoluto	TA

**3.3.11. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), (Figura 12).

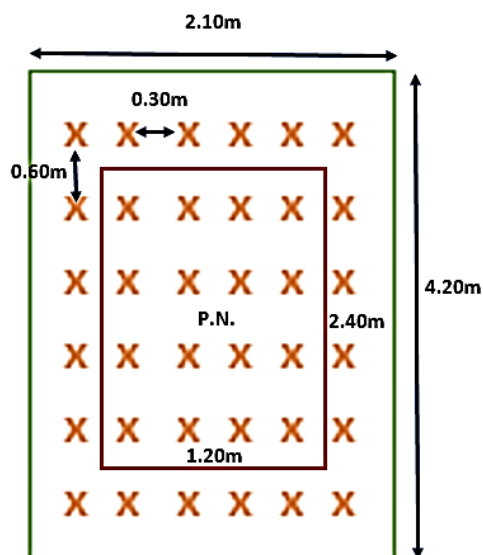
**Figura 12**

*Distribución de los tratamientos en campo (DBCA).*



**Figura 13**

*Medidas de la unidad experimental, parcela neta y distancias de siembra*



### 3.3.12. Características del experimento

- Tratamientos: 5
- Bloques: 3
- Número total de unidades experimentales: 15
- Área del experimento: 429.66m<sup>2</sup>
- Número de plantas por UE: 36 plantas
- Número de plantas por parcela neta: 16 plantas
- Distancias entre plantas: 30 cm
- Distancia entre surcos: 60 cm

### 3.3.13. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el software INFOSTAT version 2020. El esquema del análisis de varianza (ADEVA), para el experimento se observa en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*El ADEVA para el diseño de bloques completos al azar*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	5
Sustrato (S)	1
Fertilización (F)	2
S x F	1
Bloques	2
Error experimental	5

### 3.3.14. Variables evaluadas

En esta fase del experimento se midieron dos tipos de variables las cuales son agronómicas y de productividad estas se describen a continuación:

## Agronómicas

- Conteo Micorrizas

Se procedió a contar micorrizas ver en la (Figura 14) en la fase de cultivo tomando muestras de suelo con un barreno pequeño con diámetro de 1 cm y longitud de muestra de 10 cm, la muestra fue tomada a 5 cm del tallo de planta (León, 2006). Esta variable fue procesada cuando el cultivo estuvo en floración y cuando se formaron las vainas a los 75 y 85 días después de la siembra respectivamente.

### **Figura 14**

*Conteo de esporas de micorrizas del suelo de cultivo de fréjol*



- Germinación (%)

Se registraron los días desde la siembra hasta a la emergencia de la semilla y se midió en porcentaje de germinación ver (Figura 15).

## **Figura 15**

*Germinación de semilla de fréjol*



- Altura de planta (cm)

De cada tratamiento se tomaron diez plantas de la parcela neta y se midieron en centímetros la altura de planta cada 15 días después que la planta presentó germinación ver (Figura 16).

## **Figura 16**

*Toma de altura del fréjol*



- Días a la floración

Los días se contabilizaron desde la fecha de siembra hasta cuando el 50% de las plantas presentaron la característica en evaluación.

- Número de flores por planta

Cuando el cultivo presentó la floración se tomaron 10 plantas de la parcela neta de cada tratamiento se procedió a contar el número de flores por planta ver (Figura 17), esto se lo realizó a los 68 y 74 días después de la siembra.

### **Figura 17**

*Conteo de número de flores por planta*



### Productividad

- Número de vainas por planta

Se tomó diez plantas de la parcela neta de cada tratamiento y se procedió a contar el número de vainas.

- Peso de 100 granos(g)

Para esta variable se considero el peso del total de cien granos de plantas de cada parcela neta, después de haber realizado la cosecha, para lo cual se utilizó una balanza gramera ver (Figura 18)



## Figura 18

*Peso de 100 granos de fréjol*



Rendimiento(kg/ha)

Se pesó el grano tierno y seco de las tres variedades de fréjol, este dato se proyectó para obtener los kg/ha de rendimiento de cada variedad en cada repetición.

### 3.3.15 Manejo del experimento

a) Muestreo para el análisis del suelo

El muestreo se realizó con el método de zig-zag, recolectando una muestra del terreno a cultivar ver (Figura 19), el cual se envió al laboratorio Agrarprojekt.

## Figura 19

*Toma de muestra para análisis de suelo*



## b) Preparación del terreno

Se utilizó una rastra para dejar el suelo muy bien mullido y desmenuzado con el objeto de airear y eliminar la mala hierba. Posteriormente se niveló de forma manual con un azadón y un rastrillo.

## c) Diseño de parcelas

Después de la preparación y delimitación del suelo se procedió a realizar el surcado de cada unidad experimental utilizando azadones ver (Figura 20).

### **Figura 20**

*Diseño de parcelas en campo*



## d) Siembra

La siembra se realizó con una distancia de 0.6 m entre surcos y entre planta 0.3 m, se aplicó 3 semillas por golpe. Esta labor se realizó de forma manual ver (Figura 21).

## Figura 21

### *Siembra de fréjol en campo*



#### e) Aplicación del sustrato

Se aplicó la cantidad de 100g de sustrato enriquecido con micorrizas alrededor de la semilla, esto basado en investigaciones donde la aplicación de micorrizas es de 150g por planta.

#### f) Riego

El riego fue mixto por gravedad y fluvial observando que fuera el necesario para mantener el suelo en capacidad de campo, esto para no provocar asfixia radicular en las plantas.

#### g) Fertilización

Se aplicó una fertilización química esto basado en los resultados del análisis de suelo previamente realizado en el área del experimento, según lo observado en los resultados se realizó un cálculo para cada hilera en las parcelas teniendo un total a agregar de 40g por hilera del Fertilizante 13%N, 30%P, 13%K y 2%Mg, 8g de sulfato de amonio y 150g de Cal.

#### h) Control de malezas y aporque

Se realizó las deshierbas de forma manual utilizando azadón, rastrillos y esto se realizó cada vez que existió la presencia de malezas. Del mismo modo se procedió a realizar el aporque antes de la floración ver (Figura 22).

#### **Figura 22**

*Control de malezas y aporque*



#### i) Control de plagas

Se realizó un monitoreo de plagas y enfermedades en el cultivo observando que no sobrepasaba el umbral económico se decidió no agregar ningún tipo de control.

#### j) Toma de datos

La toma de datos se realizó desde la germinación hasta el rendimiento en kg/ha del cultivo.

k) Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual cuando el cultivo llegó a su madurez fisiológica ver (Figura 23).

**Figura 23**

*Cosecha de fréjol*



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Primera Fase: Multiplicación de micorriza en vivero

En esta fase se evaluaron dos variables: conteo de esporas de micorrizas arbusculares y porcentaje de invasión con tinción de raíces. Estas variables fueron analizadas estadísticamente y permitieron conocer el sustrato y el cultivo trampa óptimo para la multiplicación de micorrizas. Para medir las variables en laboratorio se recolectó muestras de suelo y de raíces a los 100, 125 y 150 días a partir de la germinación de los cultivos trampa.

#### 4.1. Conteo de esporas de micorrizas arbusculares

En la Tabla 9, se observa que existe interacción entre los días después de la siembra y el sustrato ( $<0.001$ ), así como entre gramíneas y sustratos (0.038).

**Tabla 9**

*ADEVA del conteo de esporas de micorrizas arbusculares*

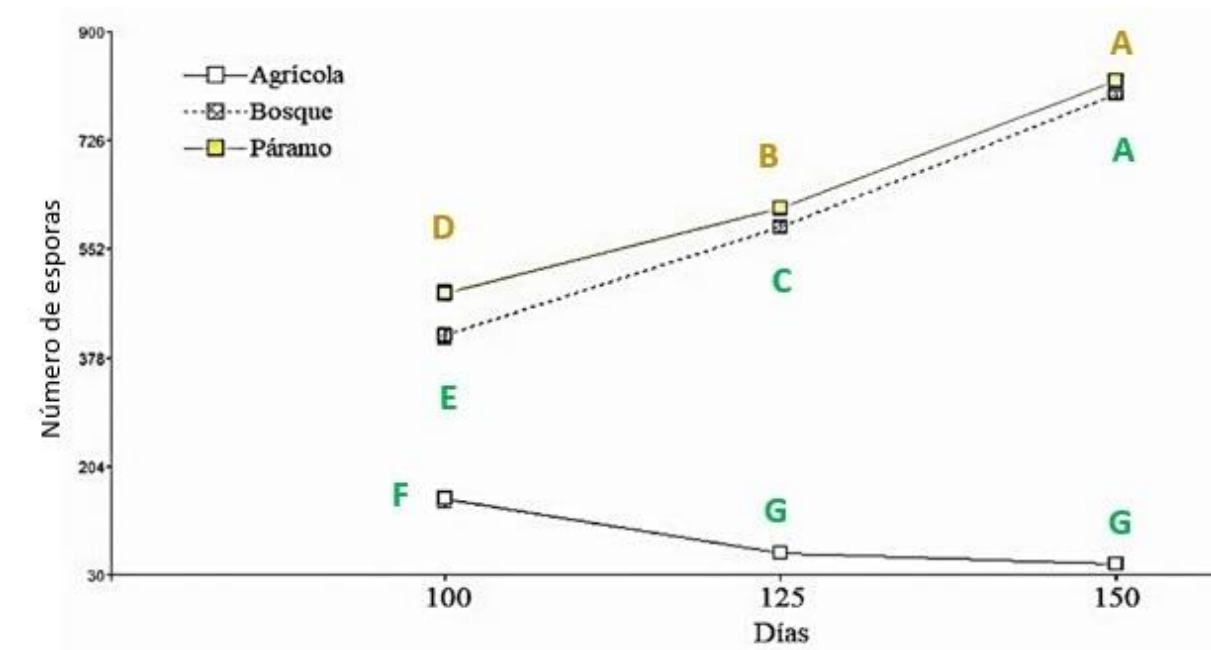
Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Dds	2	376	354,94	$<0,0001$
Gramíneas	2	376	1,88	0,1536
Sustrato	2	376	3069,96	$<0,0001$
Dds: Gramíneas	4	376	0,25	0,9077
Dds: Sustrato	4	376	198,49	<b><math>&lt;0,0001</math></b>
Gramíneas: Sustrato	4	376	2,56	<b>0,0380</b>
Días: Gramíneas: Sustrato	8	376	1,68	0,1017

Se observa que el número de esporas fue mayor en el sustrato de páramo con respecto a los sustratos de bosque y agrícola esto se puede distinguir en la Figura 24. Continuando se observa que, durante el periodo de evaluación, el sustrato de páramo evidenció un incremento de número

de esporas desde 482 a los 100 días hasta 822 esporas a los 150 días. Así mismo, en el sustrato páramo, el número de esporas a los 100 y 125 días fue el 15% y el 5% más, respectivamente, que los valores obtenidos en los sustratos de bosque durante el mismo periodo y presentaron diferencias significativas entre ellos. Finalmente, el número de esporas presentes en el sustrato de páramo superó con 69%, 90% y 95% más en comparación con los valores obtenidos en el sustrato agrícola durante los días de evaluación, los cuales fueron de 151, 63 y 46 esporas a los 100, 125 y 150 días, respectivamente.

**Figura 24**

*Análisis de medias para conteo de esporas de micorrizas arbusculares*



En relación a lo antes mencionado el INVAM (2020), sugiere que el carbono se reparte hacia la esporulación de las micorrizas en el cuarto mes, ya que en ese momento los brotes de las plantas y las raíces no presentan crecimiento. Por lo tanto, en la presente investigación se evidencia un mayor número de esporas a los 150 días después de la siembra ya que el carbono del sustrato ayudo a una mayor multiplicación de esporas.

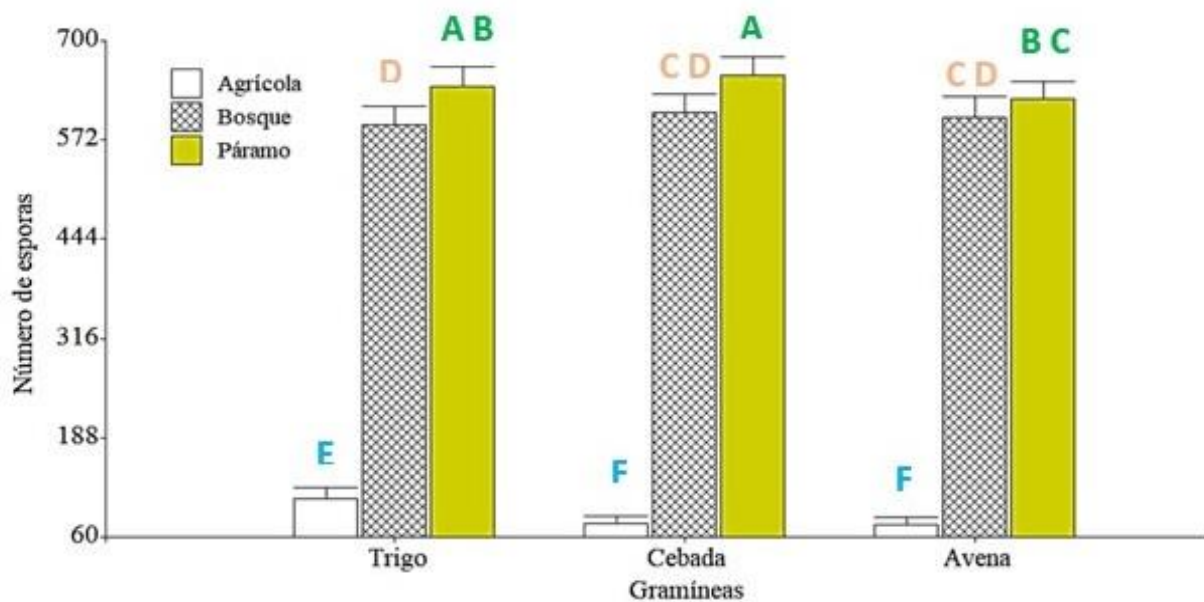
Gutiérrez (2015), indica que la cantidad de carbono retenida en el suelo de un bosque tropical es de 50 T ha<sup>-1</sup>, mientras que en el suelo de páramo se ha registrado hasta 1 700 T ha<sup>-1</sup>, continuando

a los resultados de la presente investigación donde se distingue una mayor multiplicación de micorrizas en el sustrato de páramo destacando que su alto contenido de carbono influyo en una mayor multiplicación de esporas.

La multiplicación de esporas por gramíneas (Trigo, Avena y Cebada) en cada sustrato, se puede observar en la Figura 25, la evaluación del trigo con cebada y trigo con avena no presentan diferencias significativas. Mientras que, la cebada y avena en el sustrato de páramo si presentan diferencias significativas, en cuanto al sustrato de bosque no presenta diferencias significativas en la multiplicación de esporas. Y para finalizar el sustrato agrícola presenta diferencias significativas entre el trigo con la cebada y avena, y entre estas dos no existe diferencias significativas, demostrando así que el tipo de gramínea no fue relevante en la multiplicación de esporas.

**Figura 25**

*Número de esporas en relación a las gramíneas*



Para corroborar lo antes mencionado, Pérez (2012), manifiesta que la asociación de estos hongos con distintas especies de gramíneas favorece la multiplicación de hongos formadores de micorrizas. Las cuales se pueden emplear como cultivos trampa usando una combinación de suelo rizosférico y trozos de raíces en conjunto con un material inerte para crear un sustrato. Estos son utilizados para crecimiento de las plantas hospederas, lo cual se evidencio en la presente



investigación dando como resultado que las gramíneas trigo, avena y cebada si favorecen a la multiplicación de esporas de micorrizas esto dependiendo del sustrato en el cual sean establecidas.

Igualmente, Yao (2010), menciona en su investigación que el maíz exhibió la mayor colonización de hongos micorrícicos arbusculares y la densidad de hifas extraradicales más bajo. A comparación del número de esporas, la diversidad y la riqueza de especies más altos. En cuanto al número de esporas tuvo una población de 18210 por kg de suelo siendo el más alto y el más bajo de 225 esporas a comparación de la presente investigación que el mayor número de esporas fue de 65500 por kg de suelo en el sustrato de páramo con la cebada y el más bajo de 7500 en el sustrato agrícola con la avena.

#### 4.2. Porcentaje de invasión con tinción de raíces

En el análisis de varianza del porcentaje de invasión se muestra interacción entre gramíneas y sustrato ( $p < 0.0459$ ), ver Tabla 10.

**Tabla 10**

*ADEVA del porcentaje de invasión*

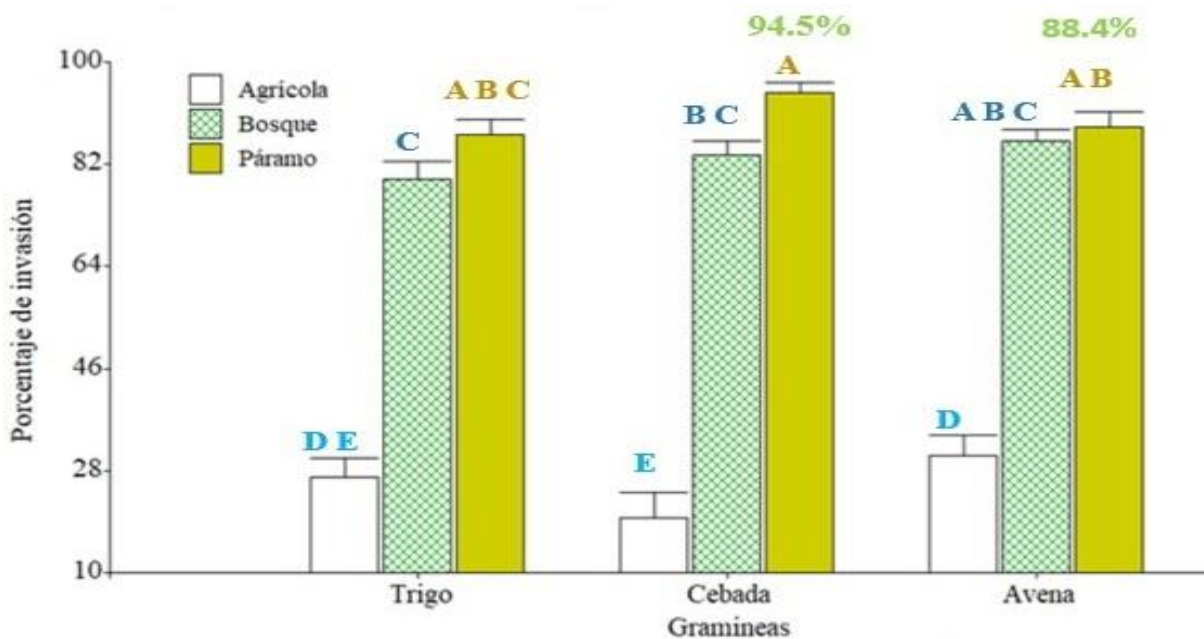
Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Días	2	133	3,54	0,0518
Gramíneas	2	133	1,31	0,2722
Sustrato	2	133	398,86	<0,0001
Días: Gramíneas	4	133	0,28	0,8896
Días: Sustrato	4	133	1,97	0,1025
<b>Gramíneas: Sustrato</b>	<b>4</b>	<b>133</b>	<b>2,49</b>	<b>0,0459</b>
Días: Gramíneas: Sustrato	8	133	0,65	0,7325

Se puede observar el porcentaje de invasión que presentan las raíces en los diferentes sustratos en la Figura 26, se observa que en el sustrato de páramo en las tres diferentes gramíneas, existió un alto porcentaje de invasión, de igual manera los resultados estadísticos no muestran diferencias significativas en el sustrato de páramo. Sin embargo, para resaltar existió una diferencia de invasión de 6 y 7% en comparación con la avena y trigo, respectivamente en el sustrato de páramo.

Mientras que, el sustrato de bosque presentó diferencias significativas de un 7% entre la avena y trigo, en cuanto al sustrato agrícola existieron diferencias significativas de un 11% entre la avena y cebada. De igual manera existió mayor invasión en el sustrato de páramo junto a la cebada con diferencias significativas del 8% con el sustrato de bosque junto a la avena, y a comparación con el sustrato agrícola fue el que presentó los valores más bajos en cuanto al porcentaje de invasión en los tres diferentes sustratos.

**Figura 26**

*Porcentaje de invasión en relación a la gramínea.*



De igual manera Ek Chim (2019), menciona en su investigación que el maíz como cultivo trampa presentó mayor porcentaje de colonización con un valor de 65% en comparación con la presente investigación que se obtuvieron valores de colonización de un 94%, estos resultados fueron en la cebada con sustrato de páramo.

Paillacho (2010), indica que en su investigación el porcentaje de colonización en el cultivo de palmito sobre sustratos no estériles fue del 87% y sobre sustratos desinfectados del 78%. Esto sugiere que las poblaciones de micorrizas nativas presentes en medios no estériles también contribuyen a mejorar la infectividad de las micorrizas, sucede lo contrario en sustratos estériles, donde el impacto de las micorrizas nativas parece reducirse.

Miranda y López (2015), en su estudio de desarrollo radicular muestran en sus resultados que la mayor densidad radical se concentró cerca de la superficie del suelo (0-20 cm) en la cebada (69%), el trigo (56%) y el triticale (71%), con lo cual se puede explicar por qué en la presente investigación existió una mayor multiplicación de esporas y presencia de arbusculos en las raíces de la cebada. Estos resultados indican que la longitud de la raíz se ve afectada por las condiciones del sustrato y los nutrientes presentes, especialmente fósforo, lo que puede ser la razón por la que se obtuvieron diferencias significativas entre el T5 y los demás tratamientos evaluados en cuanto al crecimiento de raíces en las gramíneas en la presente investigación.

- **Segunda Fase**

En la segunda fase del presente experimento se evaluaron 7 variables, germinación, altura, conteo de esporas de micorrizas arbusculares, días a la floración, número de flores por planta, número de vainas por planta, peso de 100 granos y rendimiento las cuales fueron analizadas estadísticamente, los resultados del objetivo planteado en cuanto a la segunda fase se dan a conocer a continuación:

### **Variables evaluadas**

En esta fase del experimento se midieron dos tipos de variables las cuales son agronómicas y de productividad estas se describen a continuación:

#### ***4.3. Porcentaje de Germinación***

En la Tabla 11, se describe el análisis de varianza para la variable porcentaje de germinación, donde se determinó que existe interacción entre días después de la siembra y los tratamientos estudiados ( $F=28$ ;  $gl=8$ ;  $p<0.0345$ ).

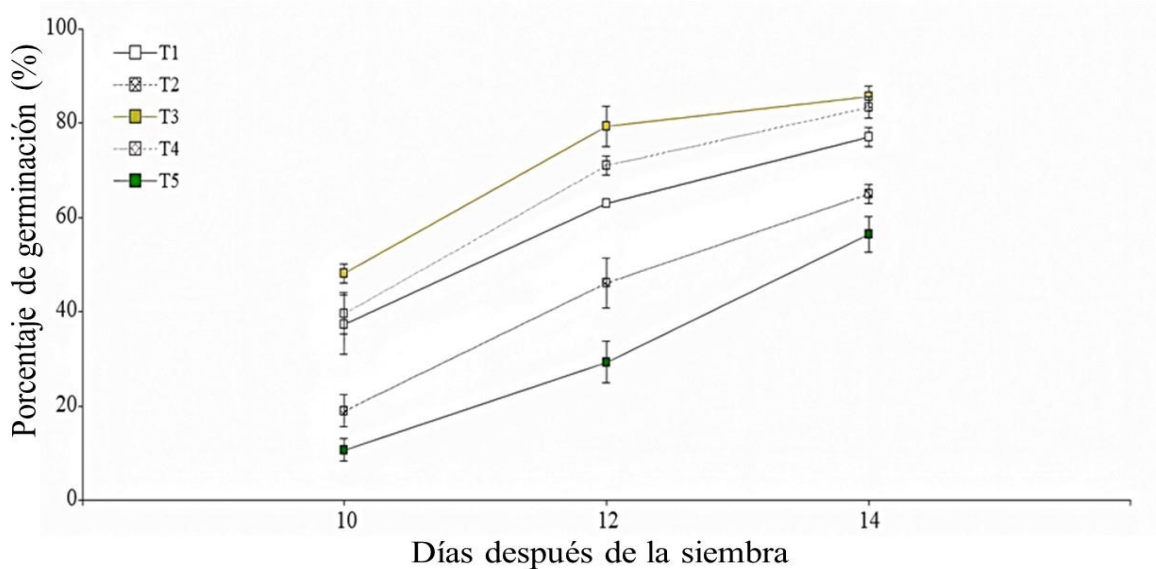
**Tabla 11***ADEVA del Porcentaje de Germinación*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Dds	2	28	204,96	<0,0001
tratamiento	4	28	67,93	<0,0001
<b>Dds: tratamiento</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>1,49</b>	<b>0,0345</b>

Se puede observar como el tratamiento T3 (100% fertilización química) en la Figura 27, es el que presentó un mayor porcentaje de germinación a los 10 días después de la siembra. Seguido del tratamiento T4 (100g sustrato micorrizas) que presentó una similitud en sus resultados con diferencias significativas de 9%. Además el que obtuvo los resultados más bajos fue el T5 (testigo absoluto) con una diferencia de 38% con respecto al T3 (100% fertilización química). A los 12 días, el tratamiento que presentó los resultados más altos fue el T3 (100% fertilización química) con un 79% de germinación, seguido del tratamiento que tiene los resultados similares que es el T4 (100g sustrato micorrizas) con una diferencia de 8% con el T3 (100% fertilización química) y el tratamiento que presentó los resultados más bajos fue el T5 (testigo absoluto) con una diferencia de 50% con el T3 (100% fertilización química). Para terminar a los 14 días el tratamiento con los valores más altos fue el T3 y T4 con un promedio de 84% entre tratamientos. A comparación del T5 con valores más bajos con una diferencia de 28% con los tratamientos más altos, siendo el T3 el que presentó los valores más altos en las 3 diferentes tomas.

**Figura 27**

*Porcentaje de germinación en relación a días después de la siembra*



Para confirmar lo antes mencionado Ballina (2017), menciona es su investigación que la adición de 81 g de micorriza tuvo un afectó positivo en la tasa promedio de germinación en *T. stans* con un 45% en *S. racemosa* con un 55% y *B. forficata* con un 72% y el testigo fue de 38, 61 y 72% respectivamente en cada especie, pudiendo recalcar que en la presente investigación el tratamiento 4 que estuvo conformado un 100% de micorrizas fue que presentó el valor más alto de germinación con un 83%.

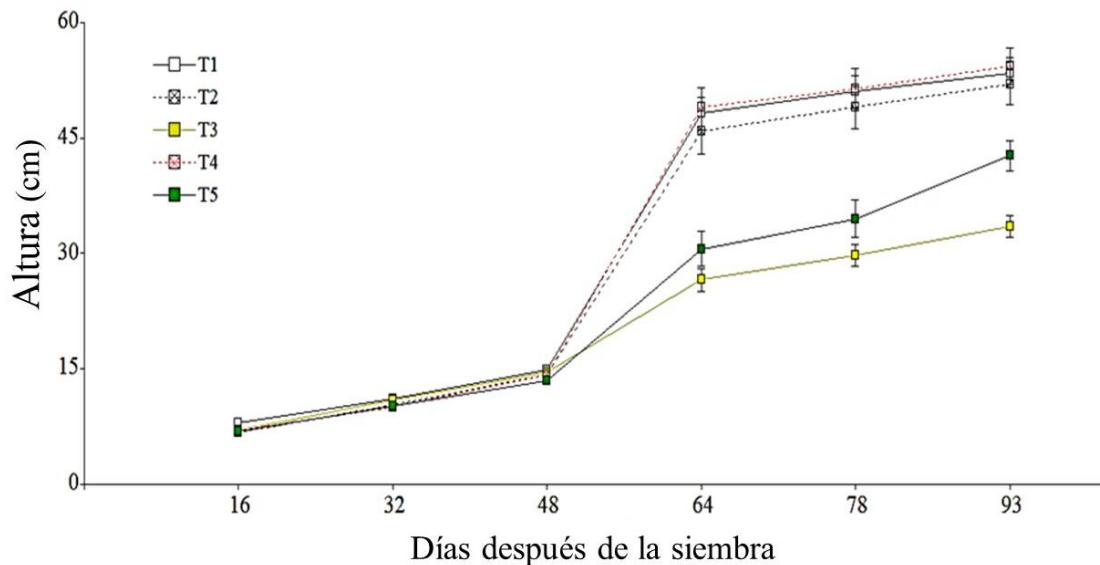
#### **4.4. Altura de la planta**

En la Tabla 12, se describe el análisis de varianza para la variable altura de la planta, donde se determinó que existe interacción entre los días después de la siembra (Dds) y los tratamientos en estudio ( $F=2086$ ;  $gl=20$ ;  $p<0.0001$ ).

**Tabla 12***ADEVA de la altura de la planta*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Dds	5	2086	1217,06	<0,0001
tratamiento	4	2086	15,84	<0,0001
<b>Dds: tratamiento</b>	<b>20</b>	<b>2086</b>	<b>10,57</b>	<b>&lt;0,0001</b>

Los resultados de altura de planta se muestran en la Figura 28. Los tratamientos T1 (50% fertilización química), T2 (25% fertilización química) y T4 (100 g sustrato micorrizas) registraron una altura promedio de 47 cm a los 64 días después de la siembra, estos tratamientos fueron superiores y significativamente diferentes con respecto a los T3 (100% fertilización química) y T5 (testigo absoluto). Las plantas de fréjol alcanzaron una altura promedio final de 46 cm hasta los 93 días y el tratamiento con micorrizas multiplicadas en sustrato páramo y gramínea cebada T4 (100 g sustrato micorrizas), el T1 (50% fertilización química) y el T2 (25% fertilización química), respectivamente fueron superiores.

**Figura 28***Altura en relación a días después de la siembra*

Para revalidar lo antes indicado Rodríguez (2006), menciona en su investigación en el cultivo de cebolla que la altura de la planta en relación a los días después de la siembra en el T5 (Micorriza + gallinaza +humus de lombriz) fue el que presentó mayor altura final con 74 cm y siendo el tratamiento T6 (testigo) el cual presentó una menor altura en todas las evaluaciones. Presentando un crecimiento de planta bastante reducido siendo su altura final de 64 cm con una diferencia de 10 cm con T5. De igual manera en el cultivo de papa en la última evaluación el testigo (T6) presentó la misma altura final de 65 cm que el T5 (Micorriza + gallinaza +humus de lombriz). Este comportamiento puede atribuirse a que el testigo recibió una segunda fertilización al momento del aporque (85 días después de la siembra), lo que favoreció el crecimiento de la altura de planta.

Gonzales (2012), menciona que la altura en plantas que tuvieron la aplicación de *Rhizobium* +Micorrizas fue de 54 cm en comparación al testigo absoluto que presentó una altura de 24 cm, esto en comparación con la presente investigación que la mejor altura fue el tratamiento T4 que contó solo con aplicación de micorrizas resaltando el valor de estas al momento de absorción de nutrientes y agua ya que presentó una altura de 54 cm en comparación con el más bajo que fue el testigo absoluto con 33 cm.

#### 4.5. Número de flores por planta

En la Tabla 13, se describe el análisis de varianza para la variable número de flores por planta, donde se determinó que existe interacción entre los días después de la siembra (Dds) y los tratamientos aplicados ( $F=235$ ;  $gl=4$ ;  $p<0.0451$ ).

**Tabla 13**

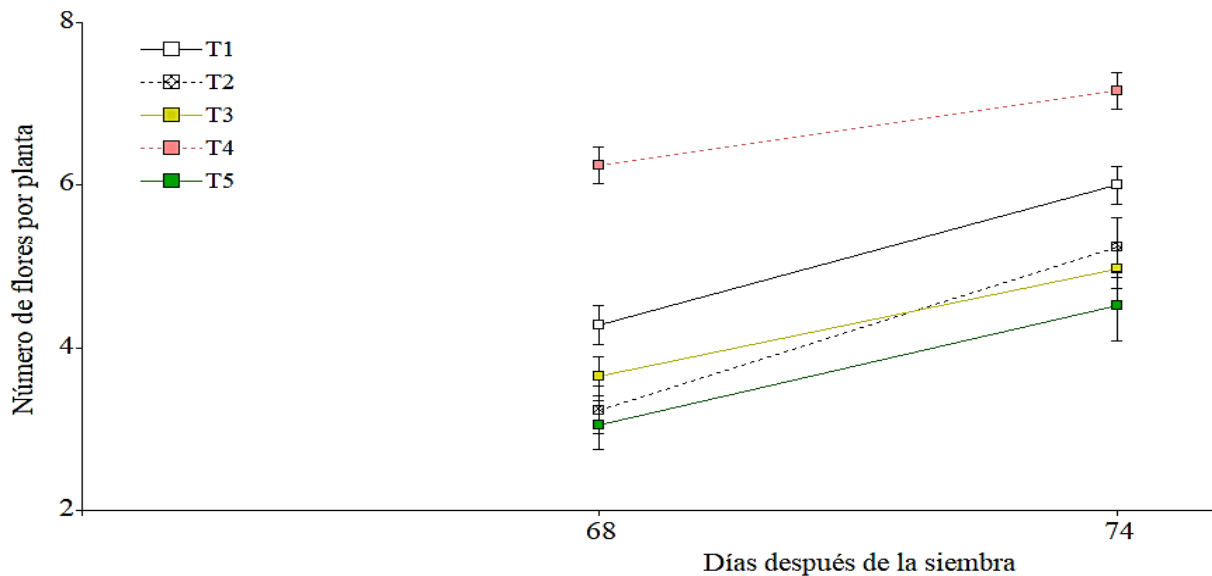
*ADEVA del número de flores por planta*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
Dds	1	235	58,33	<0,0001
tratamiento	4	235	35,80	<0,0001
<b>Dds: tratamiento</b>	<b>4</b>	<b>235</b>	<b>1,01</b>	<b>0,0451</b>

En la Figura 29 se observa el número de flores por planta. A los 68 días los tratamientos T1 (50% fertilización química), T2 (25% fertilización química), T3 (100% fertilización química) y T5 (testigo absoluto) registran un número de flores promedio de 3 flores, siendo los más bajos a comparación del T4 (100g sustrato micorrizas) que presenta 6 flores por planta siendo superior y significativamente diferente. Continuando a los 74 días se puede observar que los tratamientos T4 (100 g sustrato micorrizas) y T1 (50% fertilización química) son superiores con un número promedio de 6 flores, a diferencia de T2 (50% fertilización química), T3 (100% fertilización química) y T5 (testigo absoluto) con un número de flores promedio de 4 siendo el valor más bajo.

**Figura 29**

*Número de flores por planta en relación con los días después de la siembra*



López y Schoonhoven, (1985), mencionan que el número de flores por planta es uno de los componentes del rendimiento que está más fuertemente influenciado por los diferentes tratamientos, ya que un aumento de flores es un aumento de vainas, sin embargo, esto depende mucho de la variedad y se reconoce como un comportamiento característico de las mismas.

#### **4.6. Conteo de esporas de micorrizas en el cultivo de fréjol**

En la Tabla 14, se describe el análisis de varianza para la variable conteo de micorrizas, donde se determinó que existe interacción entre la etapa del cultivo y los tratamientos aplicados ( $F=10,53$ ;  $gl=4$ ;  $p<0.0001$ ).



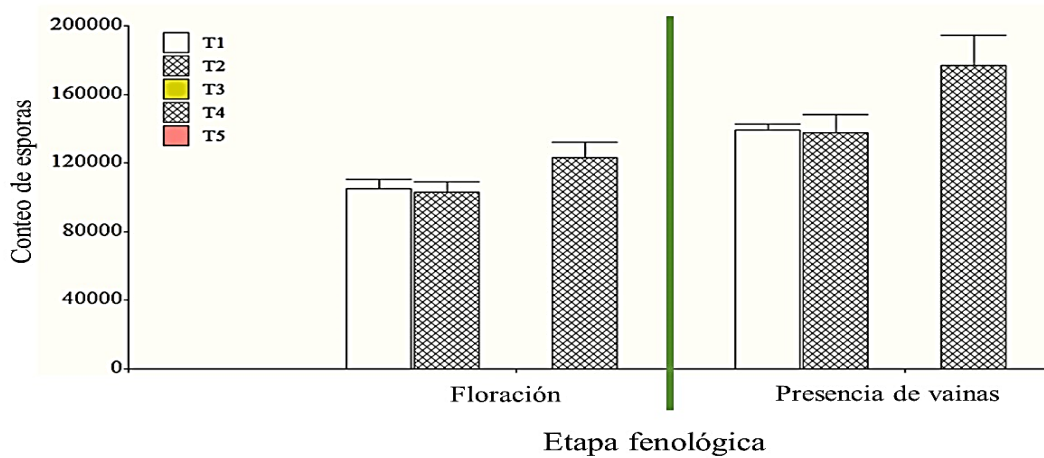
**Tabla 14***ADEVA del conteo de esporas de micorrizas arbusculares*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
etapa	1	18	186,91	<0,0001
tratamiento	4	18	496,20	<0,0001
<b>etapa: tratamiento</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>10,53</b>	<b>0,0001</b>

En la etapa de floración el tratamiento que tuvo una mayor multiplicación de esporas fue el T4 (100g sustrato micorrizas) con una población de 176808 esporas en la Figura 30. Esto a comparación de los tratamientos T1 (50% fertilización química) y T2 (50% fertilización química) que presentaron una multiplicación similar de esporas con un promedio de 138306 esporas presentando una diferencia de 38502 esporas con el tratamiento T4 (100 g sustrato micorrizas), y siendo el que tuvo una más baja multiplicación de esporas el T3 (100% fertilización química) con una diferencia de 176661 esporas. En cuanto a la etapa de vainas de igual manera el tratamiento que presentó una mayor multiplicación fue el T4 (100g sustrato micorrizas) con una población de 123242 esporas. Seguido de los tratamientos T1 y T2 que fueron similares en la multiplicación de esporas con un promedio de 103963 esporas y una diferencia de 19279 con el T4, y siendo el más bajo el T3 con una diferencia de 123129 esporas.

**Figura 30**

*Conteo de esporas en relación a la etapa fenológica*



Al respecto Barea (1992), menciona en su investigación que la mayoría de las leguminosas responden favorablemente a la infección con micorrizas arbusculares (MA) por cuanto incrementan principalmente el suministro de fósforo para el proceso de fijación de nitrógeno por el sistema *Rhizobium*- leguminosa.

De igual manera Cano (2013), indica que en su investigación al aplicar micorrizas al cultivo de fréjol se pudo observar una densidad de 13950 esporas en comparación con el testigo que no presentó ninguna población de esporas que fue realizado en un sustrato inerte. Todo esto teniendo en cuenta que la mayor población de micorrizas en la presente investigación fue en el T4 que fue el tratamiento 100% micorrizas observando que existió una gran multiplicación de estas, ya que su población final fue de 150025 en comparación con el testigo químico que presentó una población de 130 esporas.

#### ***4.7. Número de vainas por planta***

En la Tabla 15, se describe el análisis de varianza para la variable número de vainas por planta, donde se determinó que existe interacción entre los tratamientos aplicados ( $F=80,48$ ;  $gl=4$ ;  $p<0.0001$ ).

**Tabla 15**

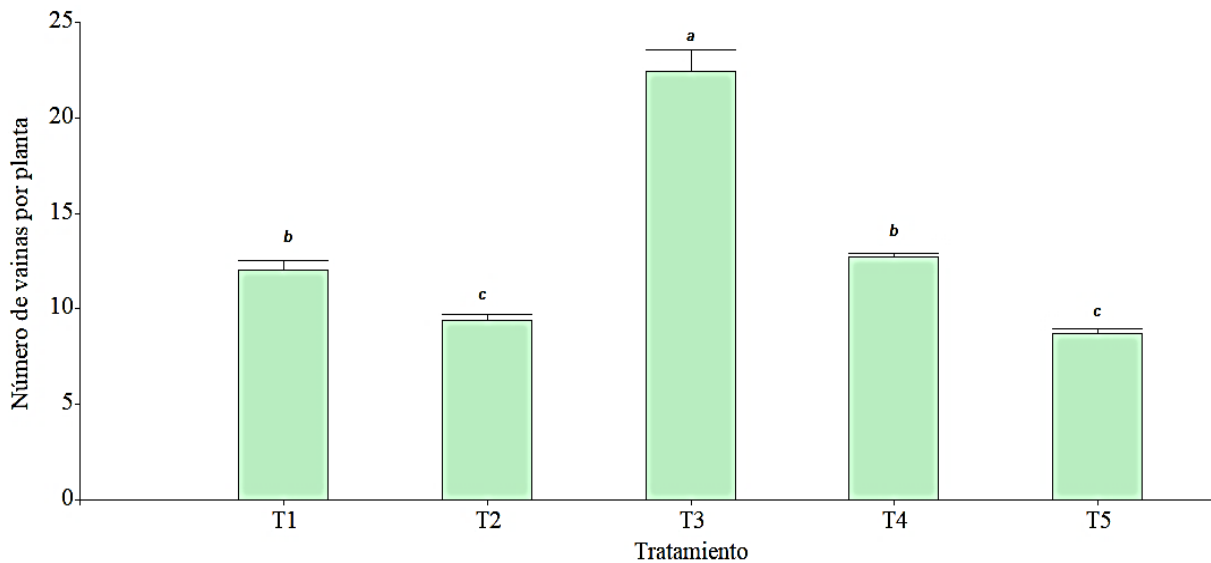
*ADEVA del número de vainas por planta*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
tratamiento	4	36	80,48	<0,0001

En la Figura 31 se observa el número de vainas, se puede observar que el tratamiento con el mayor número de vainas fue T3 (100% fertilización química) con 22 vainas, seguido de los tratamientos T1 (50% fertilización química) y T4 (100 g sustrato micorrizas) que presentan un número promedio de 12 vainas y una diferencia de 10 vainas con el T3 (100% fertilización química) y los más bajos serían los tratamientos T2 (25% fertilización química) y T5 (testigo absoluto) con un promedio de 8 vainas.

**Figura 31**

*Número de vainas por planta en relación a los tratamientos*



Para corroborar lo antes mencionado Rodríguez (2012), menciona en su investigación que el tratamiento de *Rhizobium* + micorrizas fue el que presentó el mayor número de vainas con un total de 63 por planta a diferencia del testigo que presentó un número de 19 y con una diferencia de 44 vainas con el mejor tratamiento.

Blandón y García (2012), indican que en su investigación que al aplicar micorrizas en conjunto con fertilizante químico se obtuvieron resultados de 10 vainas por planta en comparación al testigo absoluto que presentó un total de 7 vainas por planta. Lo que se puede evidenciar en la presente investigación que a pesar que el testigo comercial presentó el más alto resultado con un total de 22 vainas por planta. Los tratamientos que se aplicaron en conjunto con fertilizante químico si presentaron mejores resultados con un promedio de 12 vainas por planta siendo más alto que la investigación antes mencionada.

#### **4.8. Peso de 100 granos**

En la Tabla 16, se describe el análisis de varianza para la variable número de vainas por planta, donde se determinó que existe interacción entre los tratamientos aplicados ( $F=42,50$ ;  $gl=4$ ;  $p<0.0001$ ).

**Tabla 16**

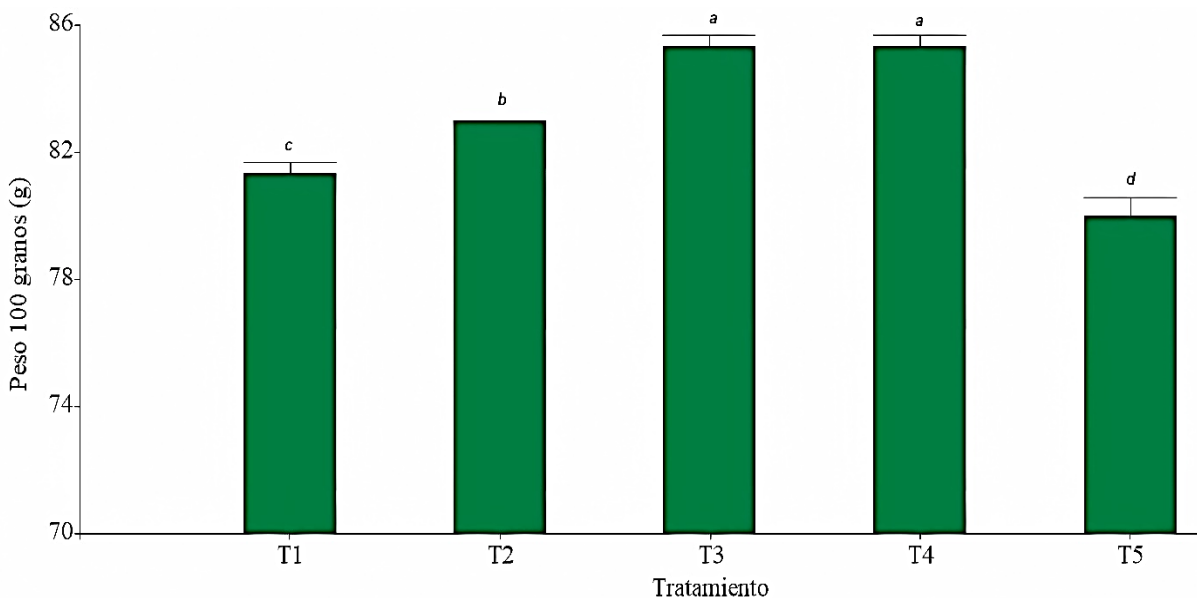
*ADEVA del peso de 100 granos de fréjol*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
tratamiento	4	8	42,50	<0,0001

Se puede observar en la Figura 32 el peso de los 100 granos siendo los tratamientos T3 (100% fertilización química) y el T4 (100 g sustrato micorrizas) los que presentaron el más alto valor con un peso de 85 g, a continuación, el T2 (505 fertilización química) presenta un valor de 83 g con una diferencia de 2 g y los tratamientos que los siguen son el T1 (25% fertilización química) y T5 (testigo absoluto) con un promedio de 80 g y una diferencia de 5 g con los mejores tratamientos.

**Figura 32**

*Peso de 100 granos de fréjol en relación a los tratamientos.*



Blandón y García (2012), indican que en su investigación con la aplicación de micorrizas arbusculares obtuvieron un peso de 29 g en 100 granos de fréjol, en comparación al tratamiento que obtuvo mejores resultados que el de micorrizas con fertilizante químico (18-46-0), un peso de 30 g en 100 granos de fréjol. Continuando con el testigo que presentó los resultados más bajos con 26 g por 100 granos de fréjol, observando que la presente investigación sobrepasa estos valores con solo la aplicación del sustrato de micorrizas arbusculares.

Gonzales (2012), menciona en su investigación que la aplicación de *Rhizobium* y *Rhizobium* +Micorrizas presenta un mayor peso en los 100 granos con pesos de 28 y 27 g respectivamente en comparación con el testigo que presentó un peso de 16 g, recalcando que la presente investigación obtuvo mejores resultados con la aplicación del sustrato de micorrizas.

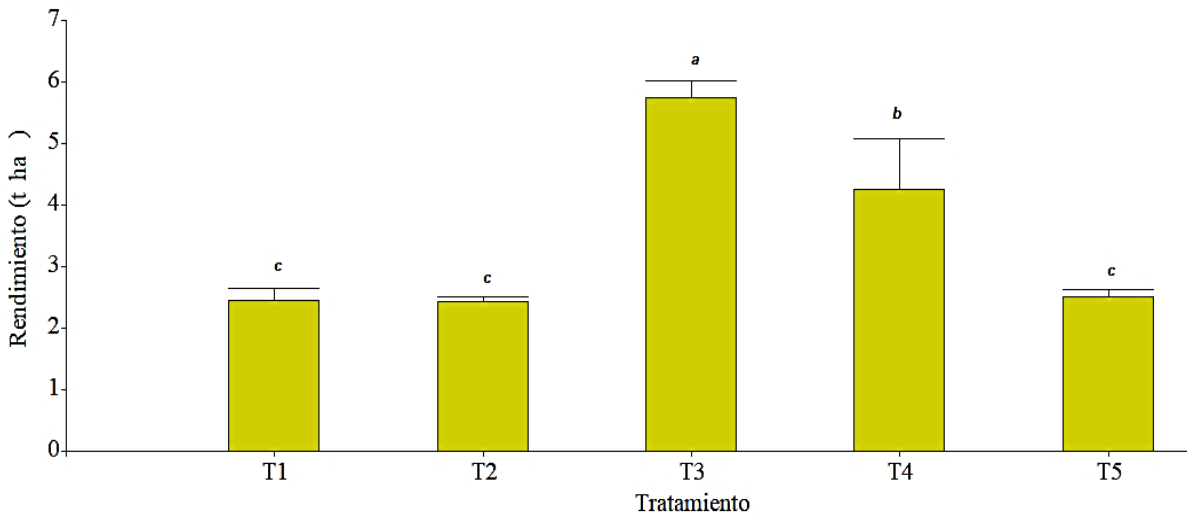
#### **4.9. Rendimiento**

En la Tabla 17, se describe el análisis de varianza para la variable número de vainas por planta, donde se determinó que existe interacción entre los tratamientos aplicados ( $F=42,50$ ;  $gl=4$ ;  $p<0.0001$ ).

**Tabla 17***ADEVA del rendimiento*

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Grados de libertad Error	Valor F	Valor p
tratamiento	4	8	13,82	0,0011

Se puede observar en la Figura 33 el rendimiento de los tratamientos en estudio siendo el T3 (100% fertilización química) el que presentó el rendimiento más alto con un valor de 6 T ha<sup>-1</sup> seguido del tratamiento T4 (100 g sustrato micorrizas) con un valor de 4 T ha<sup>-1</sup> y una diferencia de 2 T ha<sup>-1</sup> con el T3 (100% fertilización química) y finalizando con los tratamientos T1 (25% fertilización química), T2 (50% fertilización química) y T5 (testigo absoluto) que fueron similares con un promedio de 2 T ha<sup>-1</sup> y una diferencia de 4 T ha<sup>-1</sup> con el T3(100% fertilización química).

**Figura 33***Rendimiento en relación a los tratamientos*

Gonzales (2012), indica en su investigación que la aplicación de micorrizas junto con rhizobium presentan un rendimiento de 2,54 T ha<sup>-1</sup> siendo el más alto en comparación con el testigo que presentó un resultado de 0.91 T ha<sup>-1</sup>. Esto comprado con la presente investigación que los resultados más altos fueron en el tratamiento 3 y 4 testigo químico y la aplicación de micorrizas respectivamente, con un rendimiento de 5,75 y 4.30 T ha<sup>-1</sup> y el más bajo testigo absoluto con 2.43 T ha<sup>-1</sup>.

Paladines (2017), en su investigación menciona que la aplicación de micorrizas en conjunto con *Rhizobium* presentó un rendimiento de 1,9 kg ha<sup>-1</sup> siendo este el más alto en comparación al más bajo que fue el testigo con 1,03 kg ha<sup>-1</sup>, siendo de igual manera los resultados de la presente investigación más rentables.

#### **4.10. Análisis Financiero**

Los costos de producción se calcularon utilizando la Tabla del Anexo 14 después de finalizar el ciclo de cultivo del fréjol. Se puede ver que los costos se calcularon en base a la inversión en el estudio actual, el que tuvo 8.82 m<sup>2</sup>/parcela y 429.66 m<sup>2</sup> de terreno total.

Se consideraron los valores directos e indirectos identificados a lo largo del estudio para realizar un análisis de costo-beneficio. También se observa el precio de venta de las vainas de granos frescos en el mercado. Según el Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA, 2023), un saco de vainas tiernas de 45 kg tiene un precio de entre \$22,55 y el kilogramo \$0,50.

Para evaluar este indicador también se utilizaron datos de rendimiento expresados en kilogramos por hectárea, y valores de ingresos y costos en usd ha<sup>-1</sup>. El precio de la semilla fue de (3.00 usd/kg) y el precio de fréjol en vaina tierna fue de (0.60 usd/kg). Se consideró el 10% de imprevistos, el costo de producción del sustrato de micorrizas fue de (0.60 usd/kg), el costo del fertilizante químico fue de (2.00 usd/kg), y el valor de mano de obra fue de (15.00 usd ha<sup>-1</sup>).

En la Tabla 18, se observa los costos de producción de cada tratamiento, se puede observar que el testigo químico fue el que más alto valor tuvo con 1340.86 usd ha<sup>-1</sup>, en cuanto al tratamiento que conto solo con aplicación del sustrato de micorrizas mostró un costo de 928.14 usd ha<sup>-1</sup> y finalmente el testigo absoluto presentó un costo de 623.24 usd ha<sup>-1</sup> siendo el más bajo en cuanto a costos de producción. Es necesario recalcar que los altos valores se deben a la aplicación del sustrato de micorrizas en el cultivo.

Los valores que se muestran en la Tabla 18, en los que se puede observar el beneficio costo de cada tratamiento con 1.17, 1.23, 2.14, 2.29, 1.81, respectivamente. Se puede deducir que por cada dólar invertido se generaron \$0.17, \$0.23, \$1.14, \$1.29 y \$0.81. De acuerdo al análisis costo/beneficio el tratamiento que mostró un efecto positivo con el índice de costo fue T4, seguido

de T3 y finalmente el T5, concluyendo que la producción del fréjol con aplicación del sustrato de micorrizas es económicamente rentable.

**Tabla 18**

*Análisis económico por tratamiento expresado en hectáreas.*

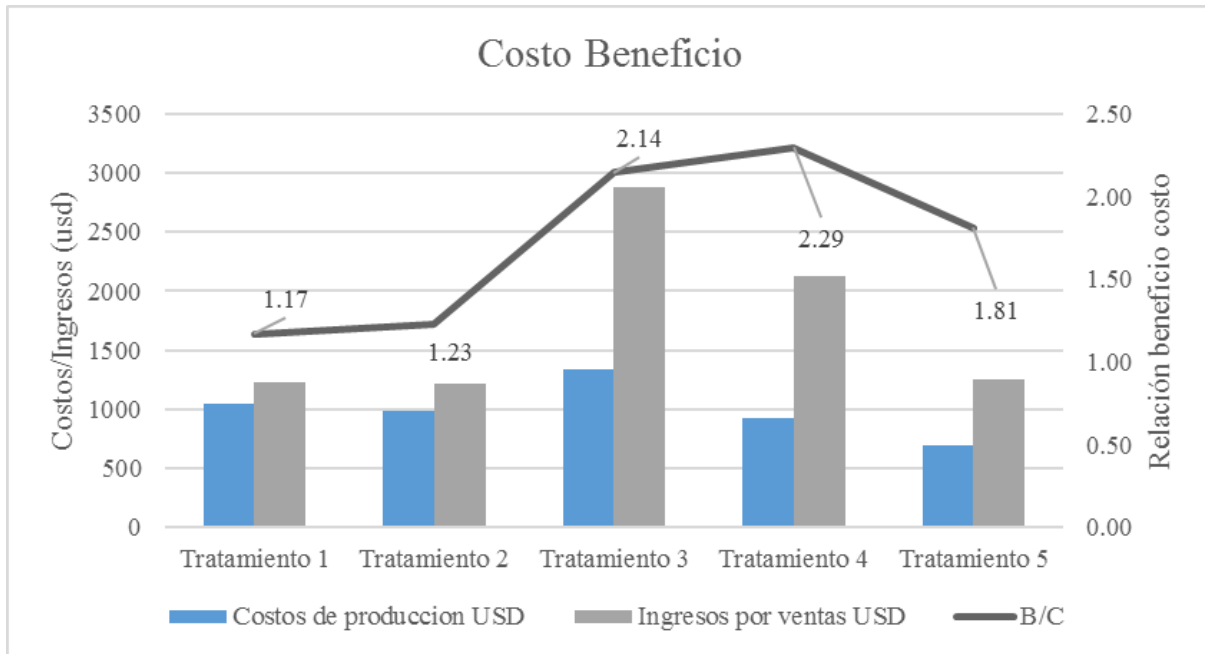
<b>Indicadores</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>
Costos de producción USD	1046.5	987.3	1340.86	928.14	693.24
Ingresos por ventas USD	1225	1215	2875	2130	1255
Rendimiento Kg ha <sup>-1</sup>	2450	2430	5750	4260	2510
Utilidad bruta	178.5	227.7	1534.14	1201.86	561.76
B/C	1.17	1.23	2.14	2.29	1.81

En la Figura 34, se pueden ver los resultados de la relación beneficio costo para cada tratamiento estudiado, destacando que el tratamiento 4 fue el que presenta mayor rentabilidad, se puede concluir que la aplicación del sustrato de micorrizas en los tratamientos fue económicamente rentable para la producción de fréjol, ya que incluye la producción del sustrato desde vivero.



**Figura 34**

*Relación beneficio costo de los tratamientos en estudio*



Triviño (2017), indica que con la aplicación de productos inoculantes de micorrizas se obtiene un resultado de costos de producción de USD \$429 en comparación a la aplicación de fertilizantes químicos con USD \$519, esto representa que el agricultor puede cultivar fréjol con productos orgánicos o biofertilizantes y satisfacer las necesidades de los consumidores y de esta manera brindar beneficios sociales, ambientales y económicos porque se estaría ahorrando \$90 en el costo de producción.

De igual manera en el mercado se encuentran productos que no reflejan el número de esporas viables y tampoco garantizan la inoculación de las mismas, además presentan precios de 10 \$/kg u otros con precios más altos como 10g por 20\$.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se determinó que la cebada en sustrato de páramo fue el tratamiento más eficaz para la multiplicación de micorrizas como cultivo trampa, siendo mayor en un 80% al testigo.
- La producción de fréjol bajo la aplicación del sustrato de micorrizas es rentable en todos los tratamientos de manera que en el T1 se obtiene 0.17 USD, en el T2 0.23 USD, en el T3 1.14 USD, en el T4 1.29 USD y en el T5 0.81 USD, así que influye positivamente en la productividad de fréjol
- El tratamiento 4 sustrato de micorrizas fue el que obtuvo un mayor beneficio costo, con un valor de 2,29 USD lo cual, por cada dólar invertido, se obtuvo una ganancia de \$ 1,29. Además, se puede concluir que el uso de sustrato de micorrizas en los cultivos ayuda a reducir el uso de fertilizantes químicos y fortalece a la planta contra enfermedades y es económicamente útil.

## 5.2 Recomendaciones

- Utilizar micorrizas arbusculares a los agricultores porque ayuda a una mejor absorción de los nutrientes, de igual manera esto implicaría un menor uso de fertilizantes químicos.
- Realizar estudios en diferentes gramíneas como maíz y sorgo y en diferentes sustratos para reconocer cual es el que ayuda a una mayor multiplicación de micorrizas arbusculares.
- Realizar una futura investigación en cuanto a los cultivos trampa, llegar a identificar las especies de esporas que se encuentran en el sustrato.

## REFERENCIAS

- Alva, J., (2019). Producción masiva de hongos micorrízicos arbusculares utilizando plantas trampa e inóculo de suelo rizosférico de café proveniente de diferentes altitudes de San Martín [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Martín Tarapoto, Perú] Repositorio Digital <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3587>
- Álvaro G., (2019). Micorrizas: simbiosis beneficiosa. Consultado 15 marz. 2023. <https://www.fertibox.net/single-post/micorrizas>
- Arbo, M. y González, A. (2006). Botánica Morfológica. Morfología de las plantas vasculares. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi Ecuador.
- Ballina, H., Sánchez, E. y Ambriz, E., (2017). Efecto de la luz y micorrizas en la germinación de semillas de árboles de selvas secas. *Instituto Tecnológico de Conkal. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Conkal, Yucatán, México.* 23(3), 29-37. <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v23n3/1405-0471-mb-23-03-00029.pdf>
- Barea, J., (1982). Producción de sustancias reguladoras del crecimiento de las plantas por hongos micorrízicos vesiculares - arbusculares *Glomus mosseae*. *Revista Microbiología aplicada y ambiental*, (43), 810 – 813. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2009000100009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2009000100009)
- Berruti, A. y Lumini, E., (2012). Biofertilizantes naturales de hongos micorrízicos arbusculares: aprovechemos los éxitos del pasado. *Fronteras en Microbiología.* 6 (1559), 1-13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2015.01559/full>
- Bethlenfalvay, G., (1991). Mycorrhizae and crop productivity. *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture, American Society of Agronomy Madison. Special Publication* 54, 1-27.

- Blandón, M. y García, M., (2012). Micorrizas y Rhizobium: opciones agroecológicas para la nutrición del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Managua-Ticuantepe [Trabajo de pregrado. Universidad Nacional Agraria Nicaragua]. Repositorio Digital <https://repositorio.una.edu.ni/3677/>
- Bonfante, P. y Genre, A., (2010). Mecanismos subyacentes a las interacciones beneficiosas planta-hongo en la simbiosis micorrizal. *Nat Commun* 1:48. <file:///C:/Users/HOME/Downloads/ncomms1046.pdf>
- Burbano, V., (2018). Efecto de la mezcla griz de maíz (*Zea mays*) fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) y diámetro de boquilla en el producto extrusado, [Trabajo de pregrado. Universidad Técnica del Norte] Repositorio Digital <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8456>
- Bustamante, M., (2019). Multiplicación de micorrizas en tres diferentes sustratos en simbiosis con plantas trampa de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum*) en condiciones de invernadero [Tesis Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos. Ecuador] Repositorio Digital <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3680>
- Cano, A. (2013). Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. (fréjol) [Tesis Pregrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo Unidad de Estudios a Distancia, Los Ríos, Ecuador] Repositorio Digital <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/546>
- Castelán, L. y López, L., (2017). Erosión y pérdida de nutrientes en diferentes sistemas agrícolas de una microcuenca en la zona periurbana de la ciudad de Puebla, México. *Terra Latinoamericana*, 35: 229-235. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v35n3/2395-8030-tl-35-03-00229.pdf>
- Cevallos, D., (2008). Evaluación de la adaptabilidad de 20 variedades y líneas de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* l.) de grano rojo y amarillo en el valle de Intag, Imbabura [Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo, Ecuador] Repositorio Digital <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2508>

- Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo un enfoque exploratorio. *Editorial Paraninfo ITP An Internacional Thomson Publishing Company. Madrid-España*. 416 p.
- Del Carmen, Y., (2012). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Bot.* 69(1): 46-56. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-66432012000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432012000100006)
- Días, F., (2014). Micorriza arbuscular como alternativa en la producción de sorgo en Tamaulipas, México. *Investigación y Ciencia*, 22(62), 56-68. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n2/v4n2a3.pdf>
- Duchicela, J. (2001). Evaluación del uso de endomicorrizas vesiculo arbusculares (MVA) en la obtención de plántulas de tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav. [Tesis de Pregrado, ESPE-Facultad de Ciencias Agropecuarias. Sangolqui-Ecuador]
- Ek Chim, J., (2019). Establecimiento de la producción de hongos micorrícicos arbusculares asociados a cocotero a través de cultivos trampa, Mérida, Yucatán, México [Trabajo de posgrado. Centro de Investigación Científica A.C.] Repositorio Digital [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1567/1/PCB\\_M\\_Tesis\\_2019\\_Jorge\\_Ek\\_Chim.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1567/1/PCB_M_Tesis_2019_Jorge_Ek_Chim.pdf)
- Feldmann, F. y Grotkass, C., (2002). Directed inoculum production shall we be able to design AMF populations to achieve predictable sybiotic affectiveness, *Mycorrhizal Technology in Agriculture*, 261-279. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-0348-8117-3\\_21](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-0348-8117-3_21)
- Fernández, A. y Sánchez, E., (2017). Estudio de las propiedades físico químicas y calidad nutricional en distintas variedades de fréjol consumidas en México, *Nova Scientia*, 9(18), 133-148. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203350918008>
- Flores, D., (2020). Inoculación de avena forrajera con hongos micorrícicos arbusculares, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (24). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200709342020000900191](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342020000900191)

- Galarza, C., (2004). Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo, *Proyecto Regional de Gestión Ambiental*, 1-7. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-relacin fsforo del suelo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-relacin_fsforo_del_suelo.pdf)
- Garzón, L. (2015). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*. (42), 217-233. <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n42/n42a14.pdf>
- Gaur, A. y Adholeya, A. (2002). Arbuscular Mycorrhizal inoculation of five tropical fodder crops and inoculum production in marginal soil amended with organic matter. *Biol Fertil Soils*, 35, 214-218. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-002-0457-5>
- Gonzales, R. y Núñez, D., (2012). Efecto de la aplicación de Rhizobium y Mycorriza en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) variedad CC-25-9 negro, Matanzas, Cuba. *Centro Agrícola*, 39(4): 17-20. <https://biblat.unam.mx/es/revista/centro-agricola/articulo/efecto-de-la-aplicación-de-rhizobium-y-mycorriza-en-el-crecimiento-del-frijol-phaseolus-vulgaris-l-variedad-cc-25-9-negro>
- Gutiérrez, M. L. (2015). Carbono como indicador de degradación de la calidad del suelo bajo diferentes coberturas en el páramo de Guerrero [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia] Repositorio Digital <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55409/53120928.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández, M., (2004). Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como alternativa a la nutrición mineral del tomate, *Cultivos Tropicales*, 25(2), 5-12. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217832001>
- Holguín, M., (2015). evaluación del rendimiento de dos variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), en tres densidades de siembra en el recinto chipe Hamburgo №2 del cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. [Trabajo de pregrado. Universidad Técnica de Cotopaxi] Repositorio Digital <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3520>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2015). “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua”. Quito: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2010). Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas. Quito, Ecuador: Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2014). Fréjol Arbustivo <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mlegum/rfrejola>

Instituto Nacional de Nutrición (1975). Tabla de composición de los alimentos ecuatorianos. Disponible en: <http://blog.espol.edu.ec/kcoello/tabla-de-composicion-de-alimentos-ecuatorianos/>

Intagri S.C. (2021). El Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura

INVAM, (2020). La colección internacional de hongos micorrícicos arbusculares. <https://invam.ku.edu/>

Izquierdo, J., (2017). Contaminación de los suelos agrícolas provocados por el uso de agroquímicos en la parroquia San Joaquín [Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, SEDE Cuenca] Repositorio Digital <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14712/1/UPS-CT007228.pdf>

Jácome, A.; Peñarete M., y Daza, M. (2013). Fertilización orgánica e inorgánica en fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) En suelo inceptisol con propiedades ándicas. *Revista Ingeniería de los Recursos Naturales y del Ambiente – EIDENAR*. (12), 59-67. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231130851006.pdf>

Leal, P., (2009). Occurrence and diversity of arbuscular Mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon Brazil, *Journal of Microbiology*, 40, 11-121. <https://www.scielo.br/j/bjm/a/PFqWcnTxRXwMdm3HvtjfDpz/?lang=en>

León, D., (2006). Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (*Manihot esculenta*) en dos regiones de la amazonia colombiana, Bogotá Colombia.



- [Trabajo de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana] Repositorio Digital <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8323/tesis296.pdf?sequence=1>
- Liu, R. y Wang F., (2003). Selection of appropriate host plants used intrap culturw of arbusculares Mycorrhizal fungi, *Mycorrhiza* 13, 123-127. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12687445/>
- Lopez, M. y Schoonhoven, A., (1985). Fréjol: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Colombia, 419p. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/54429>
- MAGAP. (2017). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <https://fliphtml5.com/ijia/rlpu/basic>
- Maldonado, M., (2022). El comportamiento de la producción de fréjol en el Ecuador [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato] Repositorio digital <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36185/1/T5557e.pdf>
- Matute, C. (2013). Evaluación agronómica de quince cultivares de fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.), en la estación experimental del austro “Bullacay”; mediante el apoyo de la investigación participativa con enfoque de género para la sierra sur del ecuador [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador] Repositorio Digital <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5101>
- Miranda, L. y López, C. (2016). Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoamericana* 34, 393-407. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000400393](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400393)
- Montiel L. y Díaz G., (2011). Evaluación de dos variedades de fréjol durante tres épocas de siembra bajo sistema de cultivo asociado con maíz, Los Ríos Ecuador. *Ciencia y Tecnología* 4(1), 5-11. <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/98>
- Mohammadi, K., Khalesro, S., Sohrabi, Y. & Heidari, G. (2011). A Review: Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. *Journal of Applied Environmental and Biological*

Sciences, 1(9), 310-319.  
[http://www.textroad.com/pdf/JAEBS/J.%20Appl.%20Environ.%20Biol.%20Sci.,%201\(9\)%20310-319,%202011.pdf](http://www.textroad.com/pdf/JAEBS/J.%20Appl.%20Environ.%20Biol.%20Sci.,%201(9)%20310-319,%202011.pdf)

Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-1. <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v32n2/pyf01209.pdf>

ONU, (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

Ormaza, J. (2018). Respuesta de tres variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) A la aplicación de bioestimulante [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil, Guayas, Ecuador] Repositorio Digital <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36148>

Ormaza, J., (2018). Respuesta de tres variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) a la aplicación de bioestimulante, Guayaquil, Ecuador. [Trabajo de pregrado. Universidad de Guayaquil] Repositorio Digital <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36148>

Pachacama, S. (2011). Aplicación de un consorcio de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y su evaluación como posible biofertilizante en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*, variedad Cañicapa) en la hacienda Aychapicho [Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Machachi, Ecuador] Repositorio Digital <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/3503?locale-attribute=de>

Paillacho, F. (2010). Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del palmito (*Bactris gasipaes* hbk) en etapa de vivero, en Santo Domingo de los Tsáchilas [Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador] Repositorio Digital <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2892>

Paladines, D., (2017). Evaluación de la respuesta del frijol común a la inoculación con Rhizobium y Micorriza Vesículo-Arbuscular, Zamorano, Honduras [Trabajo de pregrado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano] Repositorio Digital <https://bdigital.zamorano.edu/items/9382fad7-5145-4147-8869-c19cf3bf4045>

- Pérez., Y. y Alvares, D., (2012). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Bot.* 69(1), 46-56. <https://www.scielo.cl/pdf/gbot/v69n1/art06.pdf>
- Pinos, M. y Morales, O., (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 157-179. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/15586>
- Quishpe, G. (2010), Determinación de la influencia de fertilización foliar como complemento a la fertilización edafológica en la producción de fréjol arbustivo Variedad INIAP-414 Yunguilla en el cantón paute [Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Azuay, Ecuador] Repositorio Digital <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1085>
- Reinoso, R. (2014). Efecto de la sustitución parcial del fertilizante químico por zeolita y micorriza en la producción de brócoli (*Brassica oleracea* L. Vr. Botrytis) [Tesis Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas, Cotopaxi, Ecuador] Repositorio Digital <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8387>
- Restrepo, K., Montoya, I., y Henao, P. (2019). Caracterización de hongos micorrícicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. *IDESIA*, 37(1), 35-44. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v37n1/0718-3429-idesia-00301.pdf>
- Riera, M. y Medina, N. (2005). Influencia de las micorrizas sobre las poblaciones bacterianas y su efecto sobre los rendimientos en secuencias de cultivos, La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*, 26(4), 21-27. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193216160003.pdf>
- Rodríguez, K., (2006). Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 3(4), 697- 719. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S168307892007000200005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S168307892007000200005)

- Rodríguez, Y. y Noval, B., (2004). Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon Esculentum* M. Var. “Amalia”). *Ecología Aplicada*, 3(1,2), 162-171. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S172622162004000100023](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172622162004000100023)
- Silva, S., y Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Economía*, 12 (23), 13-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>
- Triviño, A., (2017). Evaluación de los productos comerciales Huxtable® y Micorrizar® como biofertilizantes en el cultivo de fréjol caupí (*Vigna Unguiculata* l.) en la finca experimental “La Cantaleta” Majua-Esmeraldas, [Trabajo de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas] Repositorio Digital <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/1446>
- Veltcheva, M. y Svetleva, D., (2005). Regeneración in vitro de *Phaseolus vulgaris* L. vía organogénesis a partir de ex plantas de pecíolo. *Revista Agricultura de Europa Central*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/174302/Tormos%20%20Regeneracion%20de%20plantas%20de%20Phaseolus%20vulgare%20mediante%20el%20cultivo%20in%20vitro.pdf?sequence=1>
- Yao, Q., (2010). Evaluación del potencial de las plantas trampa para detectar hongos micorrízicos arbusculares mediante análisis de electroforesis en gel de gradiente desnaturante mediante reacción en cadena de la polimerasa, *Ciencia del suelo y nutrición vegetal* 56(2010), 205–211. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1111/j.1747-0765.2010.00444.x>
- Yao, Q.; Gao, J., y Zhu, H. (2010). Evaluación del potencial de las plantas trampa para defecionar hongos micorrízicos arbusculares mediante el análisis de electroforesis en gel de gradiente desnaturante de la reacción en cadena de la polimerasa. *Ciencia del suelo y nutrición vegetal* 56, 205-211. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/223>

Zavala, F., (2011). Rendimiento del sorgo con micorriza y fertilización química [Tesis de pregrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Uruapan, México] Repositorio Digital

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S01884999201900030068](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01884999201900030068)

3

## ANEXOS

Anexo 1: Levantamiento del vivero para la multiplicación de micorrizas



Anexo 2: Interior de vivero



Anexo 3: Esterilización de arena a baño maría para su posterior utilización en la mezcla para el sustrato



Anexo 4: Arena dentro del tanque



Anexo 5: Pesado de las fundas con el sustrato



Anexo 6: Siembra de gramíneas





Anexo 7: Germinación de los primeros tratamientos



Anexo 8: Riego en los cultivos trampa



Anexo 9: Distribución de tratamientos en vivero



Anexo 10: Siembra de fréjol en campo



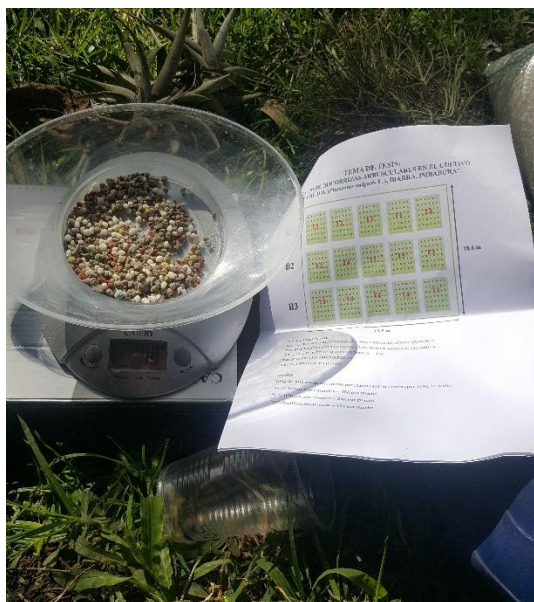
Anexo 11: Cosecha de fréjol en campo



Anexo 12: Visita de campo segunda reunión científica



### Anexo 13: Pesaje del fertilizante químico para los tratamientos



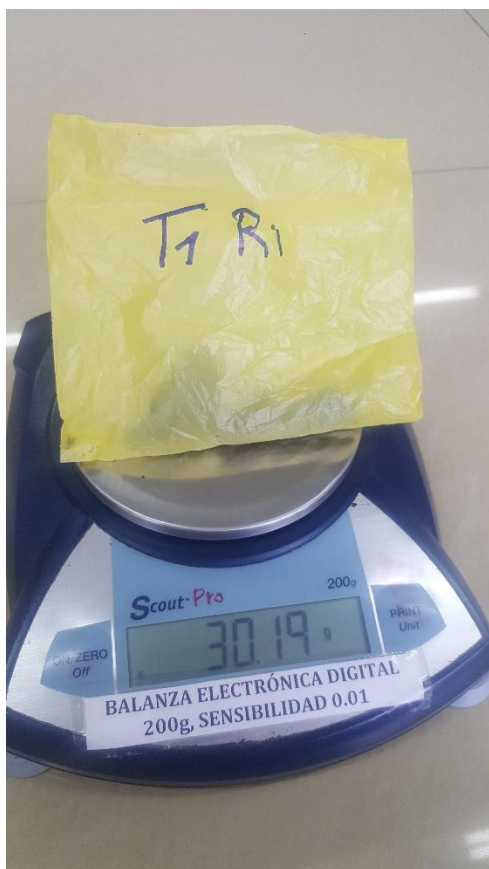
### Anexo 14: Toma de variables en campo



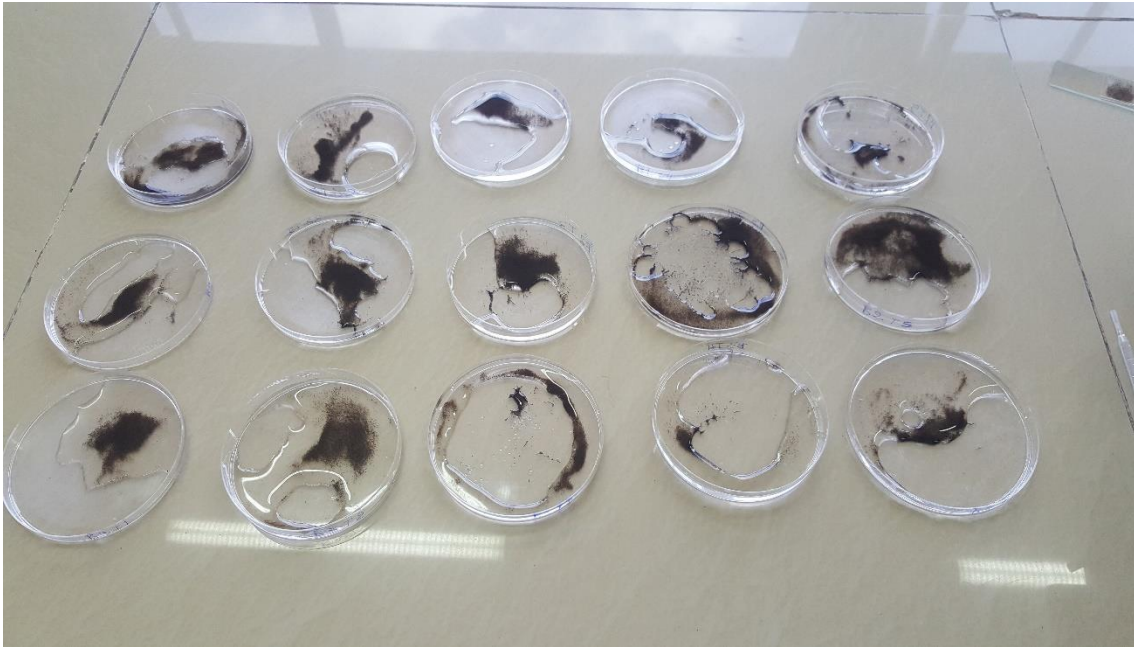
Anexo 15: Conteo de micorrizas de muestra de suelo del fréjol



Anexo 16: Pesaje de las muestras de suelo del cultivo de fréjol para laboratorio



Anexo 17: Cajas Petri con muestras de suelo para conteo de esporas



Anexo 18: Lugar de siembra del fréjol



Anexo 19: Análisis de suelos



Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

**Agrarprojekt S.A.**  
 Urb. El Condado, Calle V #941 y Av. A, Quito  
 Tel: 02-2490575/02-2492148/0984-034148  
 info@agrارprojekt.com  
 www.agrarprojekt.com

**INFORME: ANÁLISIS DE SUELO**

PT0901.REV01

Pág 1/2

<b>Código Agrarprojekt:</b>	UTN-120422	<b>Informe de Ensayo N°</b>	523
<b>Fecha de recepción:</b>	12-04-22	<b>Fecha de Informe:</b>	25-04-22

DATOS DEL CLIENTE			
<b>Cliente:</b>	Amanda Raquel Campues Alvear		
<b>Solicitado por:</b>	Amanda Raquel Campues Alvear		
<b>Ubicación:</b>	Ibarra	<b>Teléfono:</b>	0981890223

PROCESO DE ANÁLISIS	
<b>Método utilizado para la preparación de la muestra y elaboración de extractos:</b>	
Secado → Tamizar para excluir partículas mayores y desmenuzar terrones → Mezcla homogénea	
pH: en H <sub>2</sub> O y KCl, Método Volumen 1:2	
C.E.: Método Volumen 1:2 (extracto en H <sub>2</sub> O)	
NH <sub>4</sub> , K, Ca y Mg: Extracción con NaCl 0.05 M	
Fe, Mn, Zn y Cu: Extracción con DTPA / CaCl <sub>2</sub>	
P: Extracción con NaHCO <sub>3</sub> 0,5 M (Método Olsen)	
NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , Na, Cl y B: Extracto Agua	

MÉTODOS DE REFERENCIA UTILIZADOS	
PARÁMETROS	MÉTODO
pH	EPA 9045 D
Conductividad (C.E.)	SM 2510 B
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	ISO 7890-1 / DIN-38405-D9-2
Amonio (NH <sub>4</sub> )	SM 4500-NH <sub>3</sub> D
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	SM 4500-P C
Potasio (K)	SM 3500-K B
Magnesio (Mg)	EPA 7000 B
Calcio (Ca)	EPA 7000 B
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	SM 4500-SO <sub>4</sub> E
Sodio (Na)	SM 3500-Na B
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	SM 4500-Cl G / SM-4500-CL-D Método Potenciométrico
Hierro (Fe)	EPA 7000 B
Manganeso (Mn)	EPA 7000 B
Cobre (Cu)	EPA 7000 B
Zinc (Zn)	EPA 7000 B
Boro (B)	DIN-38405-D17
Molibdeno (Mo)	EPA 7010
Silicio (Si)	EPA 7010
Aluminio (Al)	EPA 7010
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> )	SM 2320 B
Materia Orgánica (LOI, "Loss On Ignition")	AOAC 967.05 / DIN 19684-3
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	EPA 9081
% Saturación de Bases	EPA 9081
Fracción de Partículas	ISO 11277

Trabajamos bajo la Norma ISO 17025

## RESULTADOS

Código Agrarprojekt: UTN-120422

Pág 2/2

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Tipo de Muestra:	Suelo
Cultivo:	Sin Cultivo
Número de Muestra:	# 1
Información Proporcionada por el Cliente:	Lote para Siembra de Tesis, Direc: Ibarra, Romerillo Bajo

Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

Análisis		Unidad	*Método de Extracción	Resultado
Características del Suelo	Materia Orgánica	%	-	5,0
	Conductividad (CE)	mS/cm	Vol. 1:2	0,05
	pH (en H <sub>2</sub> O)	-	Vol 1:2	7,2
	pH (en KCl)	-	Vol 1:2	5,9
Macronutrientes	Nitrato (NO <sub>3</sub> -N)	mg/kg	Extracto Agua	4,4
	Amonio (NH <sub>4</sub> -N)	mg/kg	NaCl 0.05 M	4,1
	*(NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> )-N	mg/kg	-	8,5
	Fósforo (P)	mg/kg	NaHCO <sub>3</sub> 0.5M	6,5
	Potasio (K)	mg/kg	NaCl 0.05 M	68,5
	Magnesio (Mg)	mg/kg	NaCl 0.05 M	113
	Calcio (Ca)	mg/kg	NaCl 0.05 M	402
Azufre (SO <sub>4</sub> -S)	mg/kg	Extracto Agua	2,3	
Micronutrientes	Hierro (Fe)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	76,5
	Manganeso ( Mn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	25,3
	Cobre (Cu)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	3,5
	Zinc (Zn)	mg/kg	DTPA/CaCl <sub>2</sub>	1,9
	Boro (B)	mg/kg	Extracto Agua	0,28
Peligro de Salinidad	Sodio (Na)	mg/kg	Extracto Agua	8,1
	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/kg	Extracto Agua	6,2
	Sales Totales	mg/kg	Extracto Agua	40,0

\* Fuente: Soil Science Society of America Inc. (Ed.). 2001. Methods of Soil Analysis. 1390 pp.

\*\* Nivel Óptimo de N: con presencia de nódulos fijadores de nitrógeno (Rhizobium spp).

-- No Aplica

**Nota:** - Los datos y resultados están basados en la información y muestras entregadas por el cliente para quien se ha realizado este informe de manera exclusiva y confidencial.

- La fecha de ensayo y los métodos utilizados están a disposición del cliente cuando lo requiera.
- El Laboratorio no realizó el muestreo por lo tanto no certifica el origen de las muestras.
- Prohibida la reproducción total o parcial de Los resultados. No procede copia



**Agrarprojekt S.A.**  
Dr. Karl Sponagel  
Director del Laboratorio



Anexo 20: Tablas de Costos

		TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2		
Rubros	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor total	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
<b>COSTOS DIRECTOS</b>							
<b>Preparación del suelo</b>							
Análisis de suelo	Unidad	1	60	60	1	60	60
Arada	Hora	1	30	30	1	30	30
Rastrada	Hora	1	25	25	1	25	25
Surcada	Hora	1	25	35	1	25	35
Instalación del ensayo	Jornal	2	15	30	2	15	30
Transporte de Fertilizante y sustrato	Unidad	1	5	5	1	5	5
<b>Mano de Obra</b>							
Siembra	Jornal	6	15	90	6	15	90
Fertilización	Jornal	6	15	90	6	15	90
Deshierve	Jornal	4	15	60	4	15	60
Aporque	Jornal	4	15	60	4	15	60
Cosecha	Jornal	4	15	60	4	15	60
Aplicación de micorrizas	Jornal	4	15	60	4	15	60
<b>Insumos</b>							
Estacas	Unidad	50	0.2	10	50	0.2	10
Letreros	Unidad	18	1	18	18	1	18
Pirola	Rollo	2	4	8	2	4	8
Semillas frejol	Kilos	2	3	6	2	3	6
Sustrato de micorrizas	gramos	1	1	256	1	1	256
Fertilización	aplicación	1	131.51	131.51	1	65.74	65.74
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>							
<b>Materiales</b>							
Cinta de medir	Unidad	1	4.26	4.26	1	4.26	4.26
Machete	Unidad	2	7	14	2	7	14
Pala	Unidad	6	7	42	6	7	42
Asadon	Unidad	6	8	48	6	8	48
Balanza gramera	unidad	1	20	20	1	20	20
			<b>Subtotal</b>	1162.77		<b>Subtotal</b>	1097
			<b>Imprevisto 10%</b>	116.27		<b>Imprevisto 10%</b>	109.7
			<b>Total</b>	1046.5		<b>Total</b>	987.3

TRATAMIENTO 3			TRATAMIENTO 4			TRATAMIENTO 5		
Cantidad	Valor Unitario	Valor total	Cantidad	Valor Unitario	Valor total	Cantidad	Valor Unitario	Valor total
1	60	60	1	60	60	1	60	60
1	30	30	1	30	30	1	30	30
1	25	25	1	25	25	1	25	25
1	25	35	1	25	35	1	25	35
2	15	30	2	15	30	2	15	30
1	5	5	1	5	5			
6	15	90	6	15	90	6	15	90
6	15	90	6	15	90	6	15	90
4	15	60	4	15	60	4	15	60
4	15	60	4	15	60	4	15	60
4	15	60	4	15	60	4	15	60
4	15	60	4	15	60	4	15	60
50	0.2	10	50	0.2	10	50	0.2	10
18	1	18	18	1	18	18	1	18
2	4	8	2	4	8	2	4	8
2	3	6	2	3	6	2	3	6
1	1	256	1	1	256	0	0	0
1	458.61	458.58	0	0	0	0	0	0
1	4.26	4.26	1	4.26	4.26	1	4.26	4.26
2	7	14	2	7	14	2	7	14
6	7	42	6	7	42	6	7	42
6	8	48	6	8	48	6	8	48
1	20	20	1	20	20	1	20	20
	<b>Subtotal</b>	1489.84		<b>Subtotal</b>	1031.26		<b>Subtotal</b>	770.26
	<b>Imprevisto 10%</b>	148.98		<b>Imprevisto 10%</b>	103.12		<b>Imprevisto 10%</b>	77.02
	<b>Total</b>	1340.86		<b>Total</b>	928.14		<b>Total</b>	693.24

Rubros	Unidad	Cantidad	Valor	Valor
			Unitario	total
<b>COSTOS DIRECTOS</b>				
<b>Multiplicacion de micorrizas</b>				
Transporte de suelos	unidad	3	5	15
Arena	metro cubico	1	12	12
Tamiz	unidad	1	5	5
Fundas	ciento	3	3	9
semilla de trigo	kilo	2	9	18
semilla de avena	kilo	2	9	18
semilla de cebada	kilo	2	9	18
<b>Materiales para laboratorio</b>				
Fundas para recolectar muestras	ciento	2	0.7	1.4
Cajas petri	unidad	30	0.3	9
Cubre y porta objetos	caja	1	5	5
Hidróxido de Potasio	Frasco (500 ml)	1	14	14
Ácido clorhídrico	Frasco (500 ml)	1	6.25	6.25
Ácido Acético	Frasco (500 ml)	1	15	15
Azul de metileno	Frasco (20 ml)	1	0.5	0.5
Glicerina	Frasco (500 ml)	1	6	6
Agua destilada	litro	2	2	4
Azucar	libra	1	0.6	0.6
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
<b>Levantamiento de vivero</b>				
Mano de obra	jornal	3	20	60
Postes de madera	unidad	9	5	45
Guaduas	unidad	3	6	18
Plastico de invernadero	unidad	1	50	50
Zaran	unidad	1	20	20
Clavos	libra	1	1	1
Alambre	libra	1	3	3
Plancon	Unidad	1	7	7
Tanque	unidad	1	8	8
			Subtotal	368.75
			Imprevistos 10%	36.87
			Total	331.88