

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



EFFECTO DE LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN LA
CALIDAD DE LOS PLANTONES DE *Coffea arabica* (café)

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

PRESENTADO POR:

JHON WILLIAM MURIEL ARIAS

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 113-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 08 de noviembre de 2024, a horas 11:00 l.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:


“EFECTO DE LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN LA CALIDAD DE LOS PLANTONES DE *Coffea arábica* (café)”

Presentado por el Bachiller: **MURIEL ARIAS, JHON WILLIAM**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 26 de noviembre de 2024


Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
PRESIDENTE


Ing. MSc. JAIME J. CHAVEZ MATIAS
MIEMBRO


Ing. MSc. MARCO A. DUEÑAS TUESTA
MIEMBRO




Dr. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 363 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN LA CALIDAD DE LOS PLANTONES DE Coffea arabica (café)	JHON WILLIAM MURIEL ARIAS	21 % Veintiuno

Tingo María, 17 de diciembre de 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la calidad de la investigación”

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO (FIF)

(Resol. 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales de Pregrado

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Recursos Naturales Renovables

Escuela profesional : Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua.

Título de tesis : Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en la calidad de los plántones de *Coffea arabica* (café).

Objetivo general : Demostrar el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en la calidad de los plántones de *C. arabica*.

Autor : Jhon William Muriel Arias.

DNI: : 76974389.

Correo electrónico : jhonmurielarias@gmail.com

Asesor de tesis : Dr. Lévano Crisóstomo, José D.

Área de investigación : Ciencias Básicas.

Grupo de investigación : Ciencias básicas.

Línea(s) de investigación : Tecnología y microbiología de suelos.

Lugar de ejecución : Centro poblado de San Fernando – Inkawasi, Cusco.

Duración : **Inicio** : 15 – 05 – 2022
Término : 15 – 11 – 2022

Financiamiento : **FEDU** : 0 soles
Propio : 3927 soles
Otros : 0 soles

Tingo María - Perú, 2024

Jhon William Muriel Arias

Tesista

José D. Lévano Crisóstomo

Asesor

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a **Dios** por ser mi inspiración en cada paso de mi vida diaria.

A mis **padres Julián y Lisbeth**, quienes son mis guías en todo lo que hago, hoy, mañana y siempre por darme el impulso para lograr este objetivo.

A mis **hermanos Yulisa y Max Jander**, les agradezco por ser mis compañeros de vida. Su presencia llena de amor y cariño; ha hecho que cada momento sea especial.

A mi **novia Flor de Rosa**, este logro es también tuyo, porque sin ti, no hubiera sido posible llegar tan lejos. Que este trabajo sea una muestra más de nuestro amor y de nuestro compromiso mutuo. Que juntos podamos seguir creciendo y aprendiendo, siempre juntos, siempre unidos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables.

A la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, por la oportunidad de poder realizar la investigación y la vez por confiar en mí para formar parte del equipo de trabajo de esta institución exitosa.

A los productores y socios de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, por ser parte de esta investigación.

A los profesores de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, cuyas enseñanzas y valores me han hecho quien soy hoy.

A mis amigos Paul y Esteban quienes directa e indirectamente, apoyaron a que uno de mis sueños se realice.

A mis abuelitas Sinforsosa y Rosa, por estar siempre conmigo durante este proceso tan largo, nunca podré pagar todo el sacrificio que hicieron por mí.

Al café por ser la razón de ser de esta investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Hongos micorrizas	5
2.2.1. La simbiosis planta-hongo.....	7
2.2.2. El uso de los HMA en la agricultura	7
2.3. Influencia de micorrizas en las plantas	8
2.4. Calidad de las plantas.....	9
2.4.1. Índice de robustez	11
2.5. Vivero de café.....	11
2.5.1. Etapa de semillero.....	11
2.5.2. Desinfección	12
2.5.3. Siembra y cuidados del semillero de café.....	12
2.5.4. Etapa de vivero	12
2.6. Plantones de café.....	12
2.6.1. Variedad geisha	12
2.6.2. Variedad buorbon amarillo	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Lugar de ejecución	14
3.2. Materiales y equipos	15
3.2.1. Material biológico en estudio	15
3.2.2. Materiales, equipos e insumos	15
3.3. Metodología	15
3.3.1. Tipo de estudio	15
3.3.2. Diseño y nivel de estudio.....	15
3.3.3. Combinaciones o tratamientos.....	16
3.3.4. Diseño del experimento	17
3.3.5. Modelo aditivo lineal.....	17
3.3.6. Esquema del ANVA	18
3.3.7. Metodología o técnica de recolección de datos	18

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Calidad morfológica de los plántones en tres variedades de <i>C. arabica</i> (geisha roja, geisha amarilla y bourbon amarillo)	25
4.1.1.	Altura	25
4.1.2.	Diámetro	32
4.1.3.	Robustez de la planta	38
4.1.4.	Biomasa	44
4.2.	Colonización de micorrizas en tres variedades de <i>C. arabica</i> (geisha, bourbon rojo y amarillo)	51
V.	CONCLUSIONES	54
VI.	PROPUESTA A FUTURO	55
VII.	REFERENCIAS	56
	ANEXO63	

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Valores para calificar la calidad de planta con crecimiento normal en especies forestales.....	11
2. Tratamientos generados por los dos factores en estudio.	16
3. Fuentes de variación considerados para el análisis de la varianza.	18
4. Análisis de costo de producción de plántones de café por hectárea.	24
5. Descriptivo de altura en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	25
6. ANVA para altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	26
7. ANVA resumido de los efectos simples para la altura total del café en cuatro meses de edad.	27
8. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la altura total en cuatro meses de edad.	27
9. Descriptivo de incremento en altura en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	29
10. ANVA para el incremento de altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	30
11. ANVA resumido de los efectos simples en el incremento de la altura total del café en un periodo de cuatro meses.	30
12. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre el incremento de la altura total en cuatro meses de edad.	31
13. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	33
14. ANVA para el diámetro del tallo de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	34
15. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el diámetro del tallo en cuatro meses de edad.	34
16. Prueba Tukey del efecto principal de las dosis de micorrizas sobre el diámetro del tallo en cuatro meses de edad.	35
17. Descriptivo de incremento en diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	35

18. ANVA para el incremento de diámetro del tallo de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	36
19. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el incremento de diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses.....	37
20. Prueba Tukey del efecto principal de las dosis de micorrizas sobre el incremento de diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses.....	37
21. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	38
22. ANVA para robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.	39
23. ANVA resumido de los efectos simples para la robustez en cuatro meses de edad.	39
24. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la robustez en cuatro meses de edad.	40
25. Descriptivo del incremento de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.....	41
26. ANVA para el incremento de robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	42
27. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el incremento de robustez en un periodo de cuatro meses.	43
28. Prueba Tukey del efecto principal por las dosis de micorriza sobre el incremento de robustez en un periodo de cuatro meses.	43
29. Descriptivo de la biomasa aérea en peso seco en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.....	44
30. ANVA para la biomasa aérea en peso seco por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.....	45
31. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa aérea en peso seco en un periodo de cuatro meses.	46
32. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa aérea en peso seco en un periodo de cuatro meses.	46
33. Descriptivo de la biomasa radicular en peso seco en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	48
34. ANVA para la biomasa radicular en peso seco por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	49

35. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa radicular en peso seco en un periodo de cuatro meses.....	49
36. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa radicular en peso seco en un periodo de cuatro meses.	50
37. Descripción de colonización y eficiencia de micorriza en el crecimiento de las plantas de café en tres variedades.....	52
38. Operacionalización de las variables en estudio.	64
39. Números aleatorios obtenidos en Microsoft Excel.....	64
40. Distribución de las unidades experimentales.	64
41. Datos promedios de la primera evaluación de plántones de café en vivero.	65
42. Datos promedios de la segunda evaluación de plántones de café en vivero.	67
43. Datos promedios de la tercera evaluación de plántones de café en vivero.	68
44. Descriptivo de altura en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.	70
45. ANVA para altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.....	71
46. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre la altura total después del repique.	71
47. Descriptivo de altura en variedades de café y uso de HMA con dos meses de edad.	71
48. ANVA para altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.....	72
49. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre la altura total con dos meses de edad.....	72
50. Prueba Tukey del efecto principal de la dosis de micorrizas sobre la altura total con dos meses de edad.....	73
51. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.	73
52. ANVA para el diámetro del tallo de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.	74
53. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el diámetro del tallo después del repique.....	74

54. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas con dos meses de edad.....	74
55. ANVA para el diámetro del tallo de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.	75
56. ANVA resumido de los efectos simples para el diámetro de tallo de café con dos meses de edad.	76
57. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre el diámetro del tallo con dos meses de edad.	76
58. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.	76
59. ANVA para robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.	77
60. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas con dos meses de edad.	78
61. ANVA para robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.	78
62. ANVA resumido de los efectos simples para la robustez con dos meses de edad.	79
63. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la robustez con dos meses de edad.....	79
64. Datos recogidos de la biomasa aérea de las plantas de café en vivero.....	79
65. Descriptivo de la biomasa aérea en peso húmedo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	81
66. ANVA para la biomasa aérea en peso húmedo por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	82
67. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa aérea en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.....	82
68. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa aérea en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.	82
69. Datos recogidos de la biomasa radical de las plantas de café en vivero.	83
70. Descriptivo de la biomasa radicular en peso húmedo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	84
71. ANVA para la biomasa radicular en peso húmedo por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.	85

72. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa radicular en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.....	85
73. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa radicular en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Plantones con cuatro meses de edad para el traslado a campo definitivo.	14
2. Promedios de la altura total al utilizar variedades y dosis de micorriza en plantones de café en cuatro meses de edad.	28
3. Altura total según el tiempo de desarrollo de los plantones de café de las tres variedades en diferentes dosis.	28
4. Promedios del incremento en la altura total al utilizar variedades y dosis de micorriza en plantones de café en cuatro meses de edad.	31
5. Promedios de la robustez al utilizar variedades y dosis de micorriza en plantones de café en cuatro meses de edad.	40
6. Promedios de biomasa aérea en peso seco al utilizar variedades y dosis de micorriza en un periodo de cuatro meses.	47
7. Promedios de biomasa radicular en peso seco al utilizar variedades y dosis de micorriza en un periodo de cuatro meses.	50
8. Porcentaje de colonización de micorriza en las variedades de geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo.	52
9. Colonización de HMA en raíces de <i>C. arabica</i> (geisha roja, geisha amarilla bourbon amarillo).	53
10. Selección de semillas.	87
11. Sembrando al voleo en cama germinador.	87
12. Preparación del sustrato (zarandeo de tierra negra mas materia orgánica de pulpa de café).	88
13. Preparación de dosis de micorriza para cada unidad de experimental.	88
14. Instalación experimental (llenado de sustrato a las bolsas, preparación manual con una estaca para introducir las plántulas a la bolsa agrícola, introducción de micorriza, introducción de plántulas a la bolsa y finalmente su riego adecuado.	89
15. Medición de variables de estudio (altura total de planta y diámetro del tallo).	89
16. Muestra de las tres unidades de biomasa radicular de la planta.	90
17. Muestra de la biomasa radicular de planta.	90

RESUMEN

El grano del café es un producto de valor en el mercado internacional, en consecuencia, los agricultores y las cooperativas cafetaleras tomaron como necesario utilizar plantas de alta calidad (con un sistema radicular bien desarrollado y mayor vigor vegetativo). Motivo por el cual se realizó un estudio con el objetivo de demostrar el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en la calidad de los plántones de *C. arabica*. Dicho experimento se desarrolló en vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, políticamente perteneciente al centro poblado San Fernando, distrito de Inkawasi, provincia La Convención – Cusco, se consideró realizar pruebas con los factores variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) y micorrizas (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg de micorrizas/planta), generando combinaciones distribuidos bajo el diseño completamente al azar con arreglo factorial de la forma 3A x 5B, se midieron los indicadores de la calidad de los plántones (altura total, diámetro, biomasa parte aérea, biomasa radicular, porcentaje de colonización y eficiencia micorrízica). Como resultado se logró demostrar efectos estadísticos significativos al combinar las variedades y la dosis de micorrizas sobre la calidad de los plántones de café.

Palabras clave: *Coffea. arabica*, efecto, calidad de los plántones, variedad, micorrizógenos.

ABSTRACT

The coffee bean is a valuable product in the international market; consequently, farmers and coffee cooperatives considered it necessary to use high quality plants (with a well-developed root system and greater vegetative vigor). For this reason, a study was carried out with the objective of demonstrating the effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the quality of *C. arabica* seedlings. This experiment was developed in the nursery of the Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, politically belonging to the town center San Fernando, district of Inkawasi, province of La Convención - Cusco, it was considered to carry out tests with the factors varieties (red geisha, yellow geisha and yellow buorbon) and mycorrhizae (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg of mycorrhizae/plant), generating combinations distributed under a completely randomized design with a factorial arrangement of the form 3A x 5B, the indicators of the quality of the seedlings were measured (total height, diameter, aerial part biomass, root biomass, percentage of colonization and mycorrhizal efficiency). As a result, statistically significant effects were demonstrated when combining varieties and mycorrhizal dose on the quality of coffee seedlings.

Keywords: *Coffea. arabica*, effect, seedling quality, variety, mycorrhizogens.

I. INTRODUCCIÓN

Para la formación de cafetales es necesario utilizar plántulas de alta calidad, con un sistema radicular bien desarrollado y mayor vigor vegetativo, lo cual se puede lograr utilizando un sustrato adecuado. El sustrato recomendado para la producción de plántulas de café está compuesto por tierra (60%) y pulpa de café (40%), mejorando el desarrollo del sistema radicular con hongos micorrizógenos arbusculares, permite obtener plántulas de calidad.

Las propiedades biológicas de un sustrato están relacionadas con la comunidad microbiana presente en el material (Maiorano et al., 2002). La diversidad y la actividad del microbiota influyen directamente en varias características del sustrato, como la agregación de sus partículas, la disponibilidad de ciertos nutrientes, la aireación, el almacenamiento de agua y otras, reflejándose en el desarrollo de la planta (Massafera et al., 2006).

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) también influyen significativamente en el crecimiento de las plantas, ya que su capacidad para formar micorrizas y promover dicho crecimiento puede variar debido al hongo, la planta y el medio ambiente, especialmente el sustrato. Las micorrizas arbusculares actúan como una extensión del sistema radicular de la planta hospedante, capaz de incrementar la absorción de nutrientes, promoviendo la protección contra patógenos, la tolerancia a la sequía y la salinidad (Silveira, 1992).

Los agricultores de café del Valle Inkawasi, se encuentran cada vez en declive con plantas de menor calidad y la menor producción progresiva. A esta consecuencia los socios de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, optaron en mejorar la calidad desde los plantones incorporando con HMA para que asimile su actividad continuamente cuando se llevará al campo definitivo. Este declive ha sucedido por el cansancio del suelo y la degradación por la permanente actividad y los suelos se encuentran en pésimas condiciones de macrofauna.

Por tal motivo los socios y la empresa buscan una alternativa de sobresalir de esta dificultad, lo cual optaron producir plantones desde el vivero con profesionales encargados en el tema, pero existen limitantes en el desarrollo de los mismos, que puede atribuirse a su nutrición, las cuales generan interrogantes como ¿Cuál es el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en la calidad de los plantones de *Coffea arabica* (café)?

Se ha evidenciado la importancia que tiene la colonización de los HMA con las raíces de las plantas, en relación con el mejoramiento de las condiciones físico-químicas del suelo; la estimulación del crecimiento e incremento de la calidad nutricional de las especies

vegetales, convirtiéndolas en más tolerantes a condiciones adversas tanto abióticas como bióticas (Barea, 2002). Se logró contrastar la hipótesis concerniente al presente estudio la cual señalaba, que los hongos micorrizógenos arbusculares afectan de manera significativa en la calidad de los plántones de *C. arabica* (café).

Objetivo general

- Demostrar el efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares en la calidad de los plántones de *C. arabica*.

Objetivos específicos

- Caracterizar la calidad morfológica de los plántones en tres variedades de *C. arabica* (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo).
- Describir la colonización de micorrizas en tres variedades de *C. arabica* (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Hernández-Acosta et al. (2020) en su estudio titulada “la micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café”, tiene como objetivo evaluar el efecto de dos inóculos de hongos micorrízicos (HM) en el crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de café en vivero fue investigado a 1399 m de altitud, con una precipitación anual promedio de 1626 mm y temperatura media anual de 18 °C. Las semillas de *C. arabica* de las variedades garnica, catimor, caturra y catuaí fueron utilizadas. Los inóculos empleados fueron *Rhizophagus aggregatus* y el consorcio *Glomus claroides*, *Rhizophagus diaphanus* y *Paraglomus albidum* (CMgrp), en un sustrato de suelo y materia orgánica. El sustrato presentaba un 13,82% de materia orgánica, pH de 6,5 y 33 mg kg⁻¹ de fósforo. Se añadieron 10g de inóculo por unidad experimental durante once meses, evaluándose altura de planta, materia seca, contenido de fósforo en hojas, porcentaje de colonización y eficiencia micorrízica. Los resultados destacaron un mejor desempeño en las variedades garnica (34,32% de colonización) y caturra (1670% de eficiencia micorrízica y 1651% de fósforo absorbido), siendo las plantas inoculadas con CMgrp las más saludables según el índice Em.

Arteaga et al. (2020) en su estudio titulado “Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliossi* Pilger en el bosque Huamantanga, Perú”. Tiene como objetivo caracterizar la colonización por micorrizas en las categorías de Brinzal, Latizal y Fustal. Para lograrlo se tomaron muestras en cinco parcelas georreferenciadas, se colorearon las raíces con azul de Tripano para observar las estructuras micorrízicas, y se tamizaron muestras de suelo para contar las esporas. En los resultados se encontraron diferencias significativas en la presencia de hifas, esporas y vesículas entre las tres categorías, con variaciones en su concentración por gramo de suelo (hifas: 39,2 % a 53 %, esporas: 30,8 % a 57,6 %, vesículas: 35 % a 51,4 %, arbusculos: 0 al 2 %), y una colonización de raíces entre 85 % y 96,2 %, además de la identificación de tres géneros micorrízicos: *Glomus*, *Entrophospora* y *Acaulospora*.

Botero y Dussán (2001) en su investigación titulada “la micorrización del aliso *Alnus acuminata* H.B.K. *subsp. Acuminata* con suelos nativos y su influencia sobre el crecimiento”, tiene como objetivo de determinar la influencia de las micorrizas en el crecimiento del *Alnus acuminata* utilizando suelos nativos como inoculantes de micorrizas arbusculares (MA) y ectomicorrizas (ECM) que pueden llegar a emplearse en programas de recuperación más efectivos, para lograrlo se emplearon tres suelos con diferente origen y

cantidad de esporas, junto con dos tratamientos: suelo pasteurizado y no pasteurizado. Se concluye que la relación simbiótica de las plantas de *Alnus* con la micorriza arbuscular (MA) favorece un mayor crecimiento con una mayor infección, y que la simbiosis simultánea con *Frankia* y ECM mejora el desarrollo de las plantas, aumentando su capacidad de supervivencia en suelos erosionados y secos.

Massafera et al. (2006) en su investigación titulada “hongos micorrízicos arbusculares en la formación de plántulas de café sobre sustratos orgánicos comerciales”, tiene como objetivo verificar el efecto de abono orgánicamente comercial y la transmisión de distintas especies de hongos micorrizógenos arbusculares en el crecimiento de plántulas de café, para lograrlo se utilizaron sustratos en descomposición coco (fibras) (Golden Mix 11, 47 y 80), corteza de pino (Rendmax, Vida Verde con/abono, Vida Verde sin/abono y Terra do Paraíso), tierra pura y tierra + estiércol, inoculando las HMA *Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum* y *Gigaspora margarita*, a los 200 días después del trasplante se evaluaron. Concluye que, los mejores efectos de la micorrización se observaron en plantas colonizadas por *G. margarita* y cultivadas en sustratos convencionales (suelo + estiércol) y Vida Verde con fertilización, en los que hubo mayor eficiencia en el uso de P, lo que resultó un superior desarrollo y buen rendimiento de biomasa, lo que resulta en una mayor eficiencia simbiótica. En el sustrato suelo + estiércol, la micorrización favoreció la concentración de pigmentos.

Adriano et al. (2011) en su investigación titulado “Biofertilizante de café orgánico en etapa de almácigo en Chiapas, México”. Tiene como objetivo evaluar el efecto de biofertilizante en el crecimiento de plántulas de *C. arábica*, variedad Bourbon en vivero. Para lograrlo se utilizaron los inoculantes *Glomus intraradices*, *Azotobacter* (cepa PACHAZ08) y *Azospirillum* (cepa 11B). En las plántulas inoculadas, se realizaron cuatro muestreos cada 28 días, midiendo altura, longitud de hojas y raíces, peso seco de hojas y raíces, contenido de clorofila y nitrógeno, y colonización de raíces por los inoculantes. Concluye que, la aplicación de tres biofertilizantes en plántulas de café en vivero mejoró su crecimiento, desarrollo y la síntesis de clorofila y compuestos nitrogenados. La cepa 11B de *Azospirillum*, sola o con HMA y *Azotobacter* (PACHAZ08), fue el mejor inoculante y promovió interacciones mutualistas entre HMA, raíces de las plántulas y *Azotobacter*.

Konrad et al. (2014) en su investigación titulado “respuesta del *Coffe arábica* a la inmunización por arbusculares inoculación de hongos micorrízicos arbusculares, en Rojo Cerrado. Tiene como objetivo verificar la respuesta de dos cultivares de café (uno sensible y otro sensible y uno tolerante al Al) a la inoculación por *Gigaspora margarita* y *Glomus etunicatum*, en Latosol rojo del cerrado, con diferente saturación (30, 45 y 53%). Para lograrlo

se utilizó el experimento en el invernadero, con un diseño factorial 2x3x3, compuesto por 2 cultivares (tolerantes al Al y sensibles al Al), 3 micorrizas tratamientos con micorrizas (con inoculación de dos especies de HMA y sin inoculación) y 3 niveles de saturación de la base del suelo (V%), con cinco repeticiones por tratamiento. Concluye que, las plantas micorrizadas presentaron aumento significativo de la aglutinación de clorofila en los pétalos y un mayor dinamismo de las enzimas nitrato reductasa que las plantas no colonizadas por AMF. *Gigaspora margarita* presentó mayor esporulación que *Glomus etunicatum* y era más eficiente en la promoción del crecimiento y de ambos cultivos de café que, en simbiosis, presentó una mayor tolerancia a la acidez del suelo.

Barrer (2009) en su estudio titulado “uso de hongos micorrizogenos arbusculares, una alternativa para la agricultura”. Tiene como objetivo mostrar la cognición del uso de Hongos Micorrizógenos Arbusculares en plántulas de interés agrícola, no solo es nutrición vegetal, también el comportamiento del organismo general o la especificidad de la influencia de las características edáficas. Para lograrlo se hizo artículos de revisión. Concluye que, el uso de HMA en la agricultura mejora el nivel nutricional de las plantas, lo que se refleja en mayor masa seca, desarrollo y área foliar. Los HMA están presentes en todo tipo de suelos y pueden colonizar cualquier planta que forme simbiosis con ellos, aunque las condiciones físico-químicas del suelo pueden influir en la especificidad con las plantas hospederas. La práctica del monocultivo y el uso de pesticidas reducen la diversidad de HMA, limitando sus beneficios, y los suelos alterados por el hombre generan respuestas variables de los HMA, desde efectos estimulantes hasta insignificantes.

Pérez y Vertel (2010) en su investigación titulado “evaluación de la colonización de HMA en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus”. Tienen como objetivo evaluar el efecto de la colonización in situ de HMA nativas, asociadas a raíces de la especie de pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus, con la finalidad de atributos físico-químicos del medio edáfico de áreas ganaderas y cuatro zonas agroecológicas. Para lograrlo se determinó el porcentaje de colonización en raíces coloreadas para comparar los promedios de colonización entre diferentes zonas. Concluye que, se demostró altos porcentajes de colonización de HMA en fincas con suelos que tienen moderados niveles de fósforo y nitrógeno, bajos niveles de sodio y un pH moderadamente alcalino.

2.2. Hongos micorrizas

Los HMA son habitantes simbióticos normales de la raíz que ayudan a las plantas principalmente en la asimilación del H₂O y suministros nutrimentales minerales. El grado de intercambio entre las células corticales de la raíz del huésped y el hongo endófito

contribuye en gran cuantía de acuerdo a la superficie de intercambio y de la eficiencia inherente del endófito en la adquisición de H₂O y suministros nutrimentales, especialmente P y Zn. Por lo tanto, es importante poder cuantificar de forma sencilla y precisa la cantidad de hongos endófito en un sistema radicular (Biermann y Linderman, 1981).

El uso de HMA como herramienta biotecnológica es crucial, por lo que es importante entender el efecto de las condiciones físico-químicas del suelo sobre ellos para maximizar los beneficios en la agricultura. Existe una especificidad entre HMA y hospederos influenciada por las condiciones del suelo, el metabolismo de las plantas, la arquitectura de la raíz y las estrategias ecológicas de los hongos. Aunque los HMA mejoran el nivel nutricional de las plantas, la práctica del monocultivo en los agroecosistemas puede reducir la diversidad de HMA y limitar sus beneficios (Barrer, 2009).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman simbiosis con el 80% de las plantas terrestres (Giovanetti y Sbrana, 1998; Vierheilig, 2004), Forman arbusculos, vesiculares (en algunas especies) e hifas dentro de las células corticales de las plantas que colonizan (Douds y Millner, 1999). Su distribución es amplia, presente en todos los ecosistemas y suelos, pero puede ser muy heterogénea en variedad y cantidad en un mismo sitio, lo cual es crucial para que la planta obtenga el máximo beneficio de la asociación (Sieverding, 1986). Esta simbiosis entre hongo y planta complementa la raíz en la absorción de nutrientes (Colozzi-Filho y Cardoso, 2000).

El principal beneficio nutricional de los HMA es el aumento de la absorción de fósforo (P), especialmente en suelos tropicales con baja disponibilidad de este elemento. Sin embargo, si el fósforo no es limitante y sus niveles son altos, la simbiosis puede reducirse o inhibirse (Blancof y Salas, 1997).

Hay controversia sobre la disminución de la diversidad de comunidades de HMA en ecosistemas naturales transformados en agroecosistemas (Sieverding, 1991). Los monocultivos, tras años de manejo agrícola, pueden reducir la abundancia de especies fúngicas (Sieverding, 1991; Oehl et al., 2003).

La introducción de la fertilización ecológica representa una práctica agrícola sostenible que emplea abonos verdes, humus, compost o microorganismos beneficiosos como alternativas, La movilización y reciclaje de nutrientes por parte de los HMA para aprovechar la fertilidad del suelo es una alternativa ecológica que promete resultados superiores a los de los fertilizantes convencionales (Barrer, 2009).

Los HMA facilitan el transporte de minerales, especialmente fósforo y agua, mientras que los diazotrofos intervienen en el ciclo del nitrógeno y aumentan el nivel

endógeno de fitohormonas, además de activar mecanismos de defensa contra patógenos radicales. Esto condujo a una mejora en la absorción de nutrientes y agua por las plantas, lo que se reflejó en una mayor capacidad fotosintética, una acumulación de biomasa carbonada más alta y un crecimiento acelerado en las etapas de vivero (Adriano et al., 2011).

2.2.1. La simbiosis planta-hongo

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se distinguen por su crecimiento dentro y entre las células de la corteza de la raíz, desarrollando estructuras como arbusculos y vesículas (Quilambo, 2003). Los arbusculos son ramificaciones de hifas que se dividen dicotómicamente, penetrando la membrana plasmática de las células corticales y con una vida corta, mientras que las vesículas son estructuras de almacenamiento que se desarrollan en las puntas de las hifas (Barker et al., 1998). Los géneros *Gigaspora* y *Scutellospora* carecen de vesículas, en su lugar, desarrollan células auxiliares (Peterson et al., 2004).

Existen tres tipos de hifas externas clasificadas por su forma y función: las infectivas, que inician la colonización de las raíces; las absorbentes, responsables de explorar el suelo en busca de nutrientes; y las fértiles, encargadas del transporte de esporas (West Virginia University, s.f.). Se pueden identificar dos tipos de colonización morfológica: el tipo "Arum", donde las hifas crecen entre las células corticales de la raíz y los arbusculos se desarrollan dentro de estas células; y el tipo "Paris", en el que las hifas y los arbusculos crecen dentro de las células, formando enrollamientos en el proceso (Barker et al., 1998; Peterson et al., 2004; Cavagnaro, et al., 2001).

Cuando son colonizadas por microorganismos (suelo), se desencadenan cambios fisiológicos y bioquímicos distintos a los observados cuando se produce la colonización por un HMA, lo que sugiere que el hongo emite señales que inhiben la respuesta defensiva de la planta. Además, la planta secreta exudados que promueven el crecimiento de las hifas en varios puntos de control durante la colonización fúngica (Gadkar et al., 2001).

2.2.2. El uso de los HMA en la agricultura

En la agricultura, los HMA son prometedores en términos biotecnológicos al mejorar la absorción de nutrientes por parte de las plantas, otorgándoles una ventaja significativa frente a aquellas no micorrizadas (Da Silva y Cardoso 2007). El entendimiento de las relaciones entre las condiciones del suelo y la ecología de los HMA locales, así como la simbiosis efectiva con las plantas, es escaso. Por ello, el estudio de las poblaciones nativas de HMA y su entorno edáfico podría mejorar su aplicación agrícola (Serralde y Ramírez, 2004).

Los HMA son cruciales en la agricultura debido a su extensa red de micelio fuera de las raíces, que conecta la planta con el suelo. Esta asociación beneficia a las plantas al mejorar la absorción de nutrientes como el fósforo, especialmente en suelos deficientes, gracias a la amplia extensión del micelio, superando la capacidad de absorción de las raíces no micorrizadas (Blancof y Salas, 1997). Dos enfoques destacan en el manejo de los HMA en agricultura: uno implica trabajar con los hongos nativos, estimulando su actividad una vez identificados, mientras que el otro consiste en la introducción de HMA seleccionados, aplicando prácticas agronómicas adaptadas a su presencia. Estas estrategias permiten optimizar el beneficio de los hongos en la producción agrícola (Sieverding, 1986; Klironomos, 2003).

2.3. Influencia de micorrizas en las plantas

El café, como cultivo, naturalmente desarrolla una simbiosis con los HMA, como demostraron las plantas control; aunque, las cepas nativas no siempre logran establecer una simbiosis óptima. Por ello, en la fase de vivero, es apropiado inoculare con cepas HMA eficaces y competitivas para mejorar el rendimiento del cultivo (Rivera et al., 2003). También en un estudio realizado por Sánchez et al. (2006) se hallaron de quince cepas de hongos micorrizógenos arbusculares inmunizadas en plantas de café en vivero, las cepas eficaces son *Glomus fasciculatum*, *Glomus mosseae* ecotipo1 y *Glomus intraradices*.

La eficacia de micorriza en la absorción de nutrientes logra su incremento según la zona de intervención en área radical de las plantas, Esto sugiere que, bajo condiciones de igual disponibilidad de nutrientes, las plantas experimentan un mayor aprovechamiento y crecimiento cuando la micorrización es eficaz (Barea et al., 1991).

Las plantas coinoculadas con HMA y rizobacterias exhiben un incremento en su crecimiento y en el contenido de proteínas solubles totales en las hojas, lo que impulsa su actividad metabólica y mejora su estado nutricional, reflejado en un mayor contenido de nitrógeno foliar y en un aumento en el vigor de las plantas (Terry y Leyva 2006).

En su estudio Quiñones-Aguilar et al. (2012) realizados en cultivos de papaya, en donde las hifas de los hongos micorrízicos arbusculares pueden absorber y trasladar el fósforo del suelo hacia las partes aéreas de las plantas, especialmente en suelos poco fertilizados, lo que podría explicar el aumento observado.

Estudios que las plantas de café muestran una alta dependencia de los hongos micorrízicos arbusculares, especialmente en suelos de baja fertilidad; Massafra et al. (2006) destaca que la simbiosis micorrízica es crucial para estas plantas, especialmente en suelos con

condiciones desfavorables como estrés hídrico, alto contenido de sales, degradación y contaminación.

El efecto de micorrización no ocurrió como se esperaba, más bien se observa un mayor efecto micotrófico en sustratos con bajos niveles de fertilidad. Por el contrario, en el sustrato convencional, suelo + estiércol, en el que hubo mayor fertilidad, el hongo *Gigaspora margarita* fue efectivo en impulsar el desarrollo de la planta, no mostrando, sin embargo, el mismo comportamiento en los demás sustratos. Uno de los factores que pudo haber influido en la respuesta del cafeto fue el nivel de N en el suelo/sustrato, que estuvo por debajo de lo adecuado, a pesar de haber sido agregado a lo largo del experimento (Massafera et al., 2006).

Utilizando los mismos sustratos para la formación de plántulas de limón, incluyendo la inoculación de *Glomus intraradices* y *Glomus etunicatum*, observó un efecto beneficioso de micorrización en todos los sustratos Maiorano (2003). Se destaca la importancia del sistema HMA - planta hospedante - suelo/sustrato como factor determinante para el desempeño de la asociación (Antunes et al., 1988).

La colonización HM fue mayor en sustratos que contenían suelo en su composición (Suelo puro y Suelo + estiércol) que en sustratos orgánicos comerciales (Massafera et al., 2006). En suelos de baja fertilidad, los HMA y las bacterias promotoras del crecimiento benefician la nutrición, crecimiento y producción de granos de café (Rivera et al., 1997). A pesar de sus beneficios, los viveristas de la región rara vez utilizan HMA e inóculos bacterianos (Adriano et al., 2011).

La HMA también ejerce una gran influencia en la estructuración del suelo, influyendo en la nutrición y la adaptación de las plantas a ambientes edáficos estresados (Siqueira et al., 2007), al aumentar el área de absorción de las raíces promovido por las micorrizas aumentan significativamente la absorción de nutrientes con disminución de actividad y conglomeración en la solución del medio edáfico (Moreira y Siqueira 2006), como el fósforo, precipitado en suelos ácidos con alto contenido de Al. La importancia del aumento de captación de la absorción de fósforo por parte de las micorrizas también se debe a que el fósforo es el nutriente limitante para la agricultura y producción en los trópicos con un agotamiento previsto (Balota et al., 2012).

2.4. Calidad de las plantas

El café es una planta micotrófica, en donde su propósito es obtener plantas robustas y vigorosas para la trasplantación desde el vivero (Hernández-Acosta et al., 2018). En un estudio se evaluaron la altura total de la planta de 04 variedades de *C. arabica* con

relación a la planta control, en donde la inmunización de la empresa CMgrp resultó plantas con mejor incremento en altura (Hernández-Acosta et al., 2020).

En *Coffea canephora* (Robusta), en donde se probó HMA (hongos micorrícicos arbusculares), a los 140 días después de la inoculación, la altura de las plantas aumentó en comparación con el control (Ibarra-Puón et al., 2014). En la investigación de Hernández-Acosta et al. (2020), menciona que, los porcentajes mayoritarios de colonización fueron con los inóculos *Glomus claroides*, *Rhizophagus diaphanus* (Cano & Dalpé) y *Paraglomus albidum* (Walker & Rhodes) (CMgrp), los cuales fluctuaron de 15,44% (en la variedad catuaí), 34,32% (en la variedad garnica).

La micorrización influyó positivamente en el desarrollo de las plántulas de *C. arabica*, los mayores valores de producción de materia seca de brotes, diámetro de tallo y altura se observaron en plantas colonizadas por *Gigaspora margarita*. En la mayoría de los sustratos utilizados, hubo un patrón de crecimiento muy similar en las plantas, a pesar de la gran diferencia que existía entre los sustratos, no solo en términos de nivel de fertilidad, sino ciertamente en términos de características físicas y biológicas (Massafera et al., 2006).

Los diferentes sustratos utilizados influyeron en la actividad enzimática en las hojas de café de diferentes formas. También las concentraciones más altas de pigmentos clorofila a, a + b y carotenoides se observaron en el sustrato suelo + estiércol, en el que la micorrización también promovió mayores contenidos de pigmento en las hojas de las plantas micorrízicas, aportando valores un 49% superiores a los de las plantas no micorrízicas (Massafera et al., 2006). También otro estudio realizado por Konrad (2003) encontró que el establecimiento de micorrizas aumentó en el número de clorofilas en las hojas de las plántulas de *C. arabica*, y en cultivares colonizados por *G. margarita*, se observaron mayores cantidades de pigmento que los colonizados por *G. etunicatum*.

En el estudio de Aguirre-Medina et al. (2011), a los 90 días después de la siembra, el porcentaje de colonización en los tratamientos con *Glomus intraradices* no superó el 18%; sin embargo, el aumento en la materia seca con respecto al control fue de 307%, y el contenido de fósforo aumentó un 116%. Por lo tanto, altos porcentajes de colonización micorrízica no garantizan mejoras en las variables morfológicas y fisiológicas de las plantas.

La variedad garnica mostró el porcentaje de colonización más alto, mientras que la variedad caturra tuvo la mayor eficiencia micorrízica y el mayor porcentaje de fósforo disponible. El consorcio micorrízico formado por *Glomus claroides*, *Rhizophagus diaphanus* y *Paraglomus albidum* (CMgrp) incrementó la altura de la planta, la materia seca y el contenido de fósforo en comparación con las plantas no inoculadas (Hernández-Acosta 2020).

2.4.1. Índice de robustez

Tabla 1. Valores para calificar la calidad de planta con crecimiento normal en especies forestales

Característica	Variable	Calidad de intervalo		
		Alta	Media	Baja
Morfológicas	Altura (cm)	15 - 25	10 - 14,9	< 10
	Diámetro basal (mm)	≥ 4	2,5 – 3,9	< 2,5
	Robustez	< 6	6.1 - 8	> 8

Fuente: Sáenz et al. 2014

2.5. Vivero de café

La producción de viveros de café es una actividad anual en cada finca. Muchos técnicos han buscado alternativas para reducir costos y producir viveros de calidad, que son esenciales para el establecimiento de una finca. Normalmente, los productores utilizan tierra negra de los primeros 15 a 20 cm sin mezclar el sustrato, lo que resulta en plántulas raquíticas y susceptibles a enfermedades. Para producir plantas de calidad a bajo costo, se buscan alternativas fáciles de adoptar y económicas. La pulpa de café se destaca como uno de los abonos más importantes en la producción orgánica (Puerta, 2006).

En el vivero, las plantas se desarrollan desde el estado fósforo o mariposa hasta completar cuatro pares de hojas, un proceso que lleva unos cinco meses. Durante este tiempo, las plántulas deben recibir cuidados exhaustivos para asegurar que se conviertan en plantones vigorosos y sanos. Estos cuidados son esenciales para que las plantas alcancen su potencial genético, garantizando que los nuevos cafetales logren altos niveles de rendimiento (IICA, 2020).

2.5.1. Etapa de semillero

El semillero es el lugar donde se crean condiciones ideales para la germinación, emergencia y crecimiento de las plántulas de café, en un período de 60 a 90 días calendarios. Debe tener acceso a suficiente agua para el riego diario y ser de fácil acceso.

Las camas de siembra, construidas con arena de río colada y lavada, favorecen el desarrollo de las raíces y facilitan el trasplante al vivero.

Las camas deben tener 01 m de ancho, 0,20 m de alto y el largo necesario. Un metro de largo permite sembrar una libra de semilla, obteniendo unas 1000 conchas seleccionadas. Se recomienda dejar pasillos de 0,40 a 0,50 m para el tránsito y construir una ramada de 2,5 m de alto para proporcionar un 50% de sombra (IICA, 2020).

2.5.2. Desinfección

Para prevenir el "mal del talluelo" causado por el hongo *Rhizoctonia solani* y el ataque de nematodos, es necesario desinfectar el sustrato. Esto puede lograrse mediante varios métodos, como la desinfección por solarización, desinfección con agua hirviendo, desinfección con agroquímicos (IICA, 2020).

2.5.3. Siembra y cuidados del semillero de café

Antes de la siembra, se deben regar y nivelar las camas, trazando los surcos transversalmente con una separación de 5 a 7 cm y una profundidad de 1,5 cm.

Las semillas se colocan en los surcos de manera continua sin montarlas una sobre otra, se presionan contra el fondo y se cubren con arena tratada.

A los 50 días, cuando las plantas comienzan a emerger, se retira la cobertura y se eliminan las plantas afectadas por el mal del talluelo. Si aparece la mancha Cercospora, provocado por *Cercospora coffeicola* se debe ajustar la sombra y, si es necesario, aplicar caldo bordelés.

Las plántulas estarán listas para el trasplante entre 60 y 90 días después de la siembra, seleccionando solo las que presenten mejor desarrollo, buen sistema radicular y estén libres de plagas y enfermedades (IICA, 2020).

2.5.4. Etapa de vivero

Durante la fase de vivero, existen tres tipos de viveros que se distinguen por los costos de manejo antes y durante la siembra, el tiempo que las plantas permanecen en el vivero y el tamaño final de las plantas obtenidas, uno de ellos es el vivero tradicional, vivero en bolsas y vivero en tubete (IICA, 2020).

2.6. Plantones de café

2.6.1. Variedad geisha

La variedad pura de café arábica conocida como Geisha se originó en el suroeste de Etiopía en 1931. Es una planta alta y frondosa, con un eje central y numerosas ramificaciones basales ortotrópicas que se desarrollan entre el segundo y el cuarto nudo. Sus hojas son oblongo-elípticas, coriáceas y de color verde oscuro, con ápices agudos. Las ramificaciones tienen una forma de "s" paralela al suelo, con entrenudos largos, y produce frutos grandes y de alto rendimiento (Miranda 2006).

2.6.2. Variedad buorbon amarillo

La planta de la variedad Bourbon, en comparación con la Típica, tiene una forma cónica menos pronunciada, con ramas secundarias más abundantes, entrenudos

más cortos y mayor cantidad de axilas florales. Las ramas primarias forman un ángulo de 45 grados con el eje principal.

Los brotes muestran un tono verde, las hojas son más anchas y tienen bordes ondulados, mientras que los frutos son más pequeños, de color amarillo cuando maduran y ofrecen una calidad excepcional en la taza. Debido a su vigor, mejor estructura y mayor cantidad de yemas florales, la variedad Bourbón tiene una productividad entre un 20% y un 30% mayor que la Típica, lo que llevó a los productores a adoptarla gradualmente en la década de 1950 en lugar de la variedad Típica.

La Bourbón es más vigorosa, con más yemas florales, lo que le otorga una capacidad productiva de hasta un 30% superior a la Típica. Su maduración temprana la hace vulnerable a la caída de frutos por lluvias, y su altura (hasta 3 metros) la hace susceptible a vientos fuertes y a la roya. Aunque puede cultivarse en diversas altitudes, se obtienen mejores resultados entre 1,070 y 1,980 metros sobre el nivel del mar (Velásquez, 2019).

Se busca aprovechar la pulpa de café como fertilizante orgánico para enriquecer el suelo, promover la formación de humus y mejorar su estructura, lo que a su vez estimula la actividad biológica del suelo. La mayor parte del fruto (18,5%) del café no es el grano en sí, sino componentes como agua (20%), pulpa (41%), cascarilla (4,5%) y mucílago (16%), donde la pulpa constituye la mayor proporción (60%). La falta de gestión de la pulpa de café contribuye significativamente a la contaminación del agua en áreas cafetaleras, sin embargo, esta pulpa contiene nutrientes y materia orgánica que pueden ser beneficiosos para el suelo (PASOLAC, 2007).

Al establecer una plantación de café, es esencial considerar las condiciones ambientales y las ubicaciones adecuadas para el cultivo. Se recomienda una altitud entre 600 y 1400 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas entre 19 y 21 °C y una pluviosidad anual de 1500 a 2000 mm. Además, el suelo debe tener una profundidad efectiva de 40 a 60 cm, una textura franca, buen drenaje y un pH entre 5 y 6 en preferencia (IICA, 2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El estudio se desarrolló en el vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi. Políticamente perteneciente al centro poblado San Fernando, distrito Inkawasi, provincia La Convención – Cusco. Geográficamente se encuentra ubicada en las coordenadas UTM WGS84, Zona 19L: 697862 mE y 8519209 mN, a una altitud de 1950 msnm.

Características de la parcela de instalación: el vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, produce plántones de café de diferentes variedades, árboles forestales y guabas para sus respectivos socios acopiadores de café, las que conducen este vivero de la empresa en varios puntos que, está a cargo de tres técnicos de la institución.

Para el desarrollo del estudio se instaló al costado del vivero central de la institución, una con capacidad para 450 plántones, que en ella se trabajó durante las fases de germinación, embolsado, acomodo de bolsas, utilización del punzón o estaca para introducción de los plántones, inserción de dosis de micorriza por tratamiento, plantación y finalmente riego de acuerdo a la condición necesaria. Se instaló tres variedades de *C. arabica* en detalle son: geisha roja con 150/plántas en 05 combinaciones/tratamientos, geisha amarilla con 150/plántas en 05 tratamientos y buorbon amarilla con 150/plántas en 05 combinaciones (Figura 1).



Figura 1. Plántones con cuatro meses de edad para el traslado a campo definitivo.

Su clima característico es tropical, con temperaturas medias anuales que oscilan alrededor de los 20°C, llegando hasta los 31°C en los meses de verano (variado) y 15°C aproximadamente en los meses de invierno (variabilidad muy inesperada puede cambiar en pocas horas de tiempo). La precipitación media anual es de 3,500 mm (condiciones de selva alta) (SENAMHI, 2021).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico en estudio

Para el experimento se utilizó 450 plántones de *C. arabica*, de tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo), que se preparó desde el germinadero y se llevó a bolsas de polietileno de 6" x 7" con edad de 2 meses. Raíces y parte aérea de las plantas para biomasa.

3.2.2. Materiales, equipos e insumos

Se empleó machete, pala tipo cuchara, vernier mecánico, wincha de 5 metros, bolsa de polietileno de "6 x 7", regadera, letreros con códigos, tablero de apuntes, panel informativo o gigantografía, balanza con precisión a centésimas, cámara fotográfica, receptor GPS y micorrizas como inoculante biológico del suelo, estufa para biomasa seca, raíces minorizadas de las plantas, microscopio, cajas de petri, pinzas finas, agujas de siembra y/o transferencia, bisturí, porta y cubre objetos, malla (100µm de poro) para transferir muestras, viales de plástico con tapa para almacenamiento de muestras, marcador y cinta de papel.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo de estudio

El estudio es de tipo prospectivo por que los datos provienen de mediciones realizadas por el propio investigador. De manera que, corresponden a mediciones controladas donde los sesgos de medición son controlados (Supo, 2020).

3.3.2. Diseño y nivel de estudio

El diseño pertenece al experimento puro, porque se manipuló de manera deliberada la variable independiente y presenta un grupo control; es de alcance comparativo – explicativo (Hernández et al., 2014), debido a que se realizó una comparación de calidad de los plántones de café en las tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) en las diferentes combinaciones o tratamientos generados en la investigación, y es de nivel explicativo porque se explica la relación causa – efecto entre la variable independiente y dependiente (Supo, 2020).

3.3.3. Combinaciones o tratamientos

Factor A : Variedades

- a₁ = Variedad geisha roja.
- a₂ = Variedad geisha amarilla.
- a₃ = Variedad buorbon amarillo.

Factor B : Hongos micorrícicos arbusculares

- b₁ = 0,00 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- b₂ = 0,02 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- b₃ = 0,04 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- b₄ = 0,06 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- b₅ = 0,08 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.

Los tratamientos están constituidos por:

Se originó por la combinación de los niveles de ambos factores en estudio, generando quince tratamientos y/o combinaciones (Calzada, 1970) cuyas codificaciones asignadas son desde el T₁, T₂, T₃, T₄, T₅, T₆, T₇, T₈, T₉, T₁₀, T₁₁, T₁₂, T₁₃, T₁₄, T₁₅ (Tabla 2).

Tabla 2. Tratamientos generados por los dos factores en estudio.

A \ B	b ₁ _0,0 kg		b ₂ _0,02 kg		b ₃ _0,04 kg		b ₄ _0,06 kg		b ₅ _0,08 kg	
	HMA		HMA		HMA		HMA		HMA	
a ₁ _V. geisha roja	a ₁ , b ₁	(T ₁)	a ₁ , b ₂	(T ₂)	a ₁ , b ₃	(T ₃)	a ₁ , b ₄	(T ₄)	a ₁ , b ₅	(T ₅)
a ₂ _V geisha amarilla	a ₂ , b ₁	(T ₆)	a ₂ , b ₂	(T ₇)	a ₂ , b ₃	(T ₈)	a ₂ , b ₄	(T ₉)	a ₂ , b ₅	(T ₁₀)
a ₃ _buorbon amarillo	a ₃ , b ₁	(T ₁₁)	a ₃ , b ₂	(T ₁₂)	a ₃ , b ₃	(T ₁₃)	a ₃ , b ₄	(T ₁₄)	a ₃ , b ₅	(T ₁₅)

Descripción de los tratamientos:

- T₁: planta geisha roja sin el Producto Pacha Micorrizas.
- T₂: planta geisha roja con 0,02 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₃: planta geisha roja con 0,04 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₄: planta geisha roja con 0,06 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₅: planta geisha roja con 0,08 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.

- T₆: planta geisha amarilla sin el Producto Pacha Micorrizas.
- T₇: planta geisha amarilla con 0,02 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₈: planta geisha amarilla con 0,04 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₉: planta geisha amarilla con 0,06 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₁₀: planta geisha amarilla con 0,08 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₁₁: planta buorbon amarillo sin el Producto Pacha Micorrizas.
- T₁₂: planta buorbon amarillo con 0,02 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₁₃: planta buorbon amarillo con 0,04 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₁₄: planta buorbon amarillo con 0,06 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.
- T₁₅: planta buorbon amarillo con 0,08 kg del Producto Pacha Micorrizas por planta.

3.3.4. Diseño del experimento

La parcela experimental que se establece está representada mediante un diseño completo al azar, dicha parcela presenta las siguientes características:

- Número de parcelas : 01
- Número de combinaciones/ tratamiento : 15
- Cantidad de unidades experimentales : 45
- Plantones por unidad experimental : 10
- Plantones por tratamiento : 30
- Cantidad de plantones en el experimento : 450

3.3.5. Modelo aditivo lineal

El modelo matemático que expresa el efecto de las combinaciones/tratamientos sobre la calidad (Y) de plantones de café, está expresado por el modelo de la forma:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Siendo:

Y_{ijk} : Efecto aleatorio o dependiente

μ : Media poblacional

A_i : Efecto del factor A (Variedades de café)

B_j : Efecto del factor B (HMA)

AB_{ij} : Efecto de la interacción entre los factores AxB (variedades de café con HMA).

ϵ_{ijk} : Error del experimento

3.3.6. Esquema del ANVA

Para lograr contrastar la hipótesis se utilizó el análisis de la varianza.

Tabla 3. Fuentes de variación considerados para el análisis de la varianza.

Fuentes de variación
Factor A
Factor B
Interacción AxB
Error del experimento
Total

3.3.7. Metodología o técnica de recolección de datos

3.3.7.1. Planificación

Este subcapítulo está referido a realizar coordinaciones con la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, para su respectivo desarrollo del estudio, el cual se instaló el dicho experimento, desde germinación hasta los plántones de café, también se desarrolló otras coordinaciones respecto al uso de materiales y equipos para su desarrollo del estudio.

3.3.7.2. Fase de campo

Obtención de semillas de café

La obtención de semillas de café de las tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) se ha obtenido 0,5 kg de cada variedad; de la misma empresa, en condiciones favorables con alta humedad que asegure el éxito del prendimiento.

Obtención de micorrizas

Las micorrizas se han obtenido de la empresa MICORRIZAR con las siguientes especificaciones.

Marca comercial	: Micorrizar
Composición	: Esporas con alta capacidad de asociación de los géneros <i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Entrophospora</i> y <i>Gigaspora</i> .
	: Micelio extramático.
	: Raycillas colonizadas.
Sustrato	: Suelo estéril.
Empaque	: Saco de 50 kg.

- : Saco de 10 kg.
- : Saco de 1 kg.
- Funciones : Inoculante biológico de suelos, que tiene como principales funciones incrementar el desarrollo radicular de la planta, Aumentar la absorción de agua y nutrientes, generar mayor resistencia al ataque de enfermedades (especialmente nemátodos) y en general mejorar el estado nutricional y fisiológico de las plantas donde es aplicado. Puede ser empleado en todos los cultivos de interés comercial (excepto en zanahoria y ciperáceas).

Preparación de tierra para el embolsado

El sustrato que alojó las semillas está compuesto de tierra negra y pulpa de café en una proporción de 2:1, se realizó con fines de almacenar nutrientes para alimentar a los plántones germinadas como también que las micorrizas insertadas al sustrato tengan un mayor desarrollo.

Instalación de la parcela experimental

Primero se preparó a construir bancos de germinación de la semilla, una vez concluido se sembró al voleo las semillas de café separadamente por variedad (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) luego se cubrió las semillas al voleo con tierra fina, finalmente se ha regado para tener en condiciones favorables y con alta humedad para su germinación.

Una vez que se tenga dos hojas las plantas de café en germinadero, se llevó al vivero, para ello las camas de vivero estaba acondicionado para 450 plántulas, se empezó haciendo el llenado de bolsas de polietileno de “6 x 7” con sustrato de tierra negra y pulpa de café, luego se llevó a la cama de vivero ordenadamente, luego se realizó preparación manual con una estaca para introducir las plántulas a la bolsa agrícola, se agregó las dosis correspondientes a cada unidad experimental, se realizó el trasplante de café finalmente se regó las plantas.

Procedimiento de la actividad de micorrizas

Se desarrolló siguiendo la metodología de Paillacho, 2010, donde realizó un estudio de evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares y la cuantificación de colonización de HMA.

Procedimiento de las raíces

Las raíces recolectadas se lavan con agua de llave o grifo, para eliminar todo el suelo e impurezas. Este procedimiento se realiza con mucho cuidado para evitar que dañe la estructura radical. Si se desea se puede dejar la muestra en remojo por un lapso de tiempo, en el cual el suelo adquiere humedad y el lavado es más eficiente y menos agresivo para la raíz.

Se toman solo raíces finas menores de 1 mm de diámetro, para facilitar la penetración de los reactivos, las raíces deben extenderse de manera que no queden apretadas dentro del tubo; en trabajos detallados, se pesa la muestra a utilizar, con el fin de unificar el tamaño de muestra.

Estimación del porcentaje de colonización radical por HMA

Con las raíces previamente teñidas se procede a evaluar la colonización, mediante las técnicas: “intersección de cuadrantes” o “intersección de campos en placa”. El método a utilizar se selecciona de acuerdo con lo que se pretenda en la investigación. El porcentaje de colonización total por HMA total, está determinado por el número de centímetros de raíces (igual número para un ensayo) y la presencia de estructuras del hongo.

a). Por intersección de cuadrantes (Marsh, 1971; Sieverding, 1984; Gonzales, 1993; Brundrett, Melville y Peterson, 1994).

Tiene la ventaja que considera la longitud del sistema radical o volumen de suelo del cual proviene la muestra, arrojando valores más reales de colonización.

Se toma una caja de Petri de 9 cm de diámetro, en la cual se traza de manera indeleble, una malla compuesta por cuadrados de 12,7 mm de lado (0,5 pulgadas). Se vacía la muestra de raíz teñida y con agujas de disección, se distribuye al azar, procurando que cubran toda el área y no queden superpuestas, se les adiciona un poco de agua, en forma tal que no se deslicen en la superficie.

Se ubica la caja de Petri bajo el estereoscopio, utilizando el objetivo que permita observar claramente la presencia de la simbiosis. Se comienza con la primera línea horizontal y se cuenta las inserciones entre raíces y líneas, luego se pasa a la siguiente línea y así sucesivamente, teniendo en cuenta, en forma separada, los segmentos que presentan colonización y aquellos que no. Este proceso se hace de igual manera con las líneas verticales. Cuando las raíces quedan paralelas a una de las líneas de la red y las que tocan en varios puntos, se cuentan como dos intersecciones.

Cada intersección corresponde a 1 cm de raíz, de acuerdo con Marsh (1971) y Sieverding (1984). La longitud total de raíz (L) en cm, evaluada corresponde a la suma de intersecciones (cm) colonizados + intersecciones (cm) no colonizados. Entonces se calcula el porcentaje de raíz colonizada por HMA.

b). Intersección de campos en placa.

Requiere tomar las raíces teñidas, seccionarlas en segmentos de 1 cm de longitud y montarlas en portaobjetos, en tal forma que los segmentos queden paralelos (Phillips y Hayman, 1970). Dependiendo del tamaño del portaobjeto, se pueden montar entre 5 y 10 cm de raíces por portaobjeto. Se adicionan unas gotas de lactoglicerol y se coloca un cubreobjetos, el cual se sella con esmalte o se mantienen por un tiempo en lactoglicerol. Una muestra “representativa” a evaluar, dependiendo de la magnitud del ensayo puede variar entre 30 – 100 cm de raíz/tratamiento (Sánchez et al., 20079).

Para realizar la evaluación se acude al objetivo 40X del microscopio. Gonzales (1993), sugiere tres puntos equidistantes por cada portaobjetos que se recorren en sentido horizontal y perpendicular. Para la evaluación en el microscopio se comienza por el extremo de la primera raíz, en este campo visual se indica si existe o no colonización, y si requiere más detalle se especifica si se trata de micelio, arbusculos, vesículas y/o combinaciones. Se pasa al siguiente campo en forma horizontal y nuevamente se indica si existe o no colonización. Se continua hasta recorrer toda la placa. Cada que se tiene un campo óptico, éste se suma como un campo total, independiente que haya o no colonización.

Manejo del experimento

Se realizó las actividades de riego cada dos a tres días, también realizó el cuidado de las plagas.

Recolección de datos de las variables en estudio

Las variables se midieron (con una primera evaluación) al día siguiente del establecimiento, mientras que la segunda medición se realizó a los dos meses y posteriores de la primera evaluación y finalmente una última medición a los cuatro meses después del establecimiento; se evaluaron las siguientes variables referentes a la calidad:

– **Altura de planta**

Se realizó la recolección de datos de esta variable utilizando una regla de 30 cm para su medición, también se ha tenido la consideración de dimensión desde la base de la planta hasta la yema apical de la misma, siendo la unidad de medida empleada en centímetros.

El incremento de altura es la diferencia entre la medida inicial y la medida final de la planta, es decir cuanto incremento o creció la planta durante el tiempo en estudio, ya sea con diferentes tratamientos empleados, según el diseño del tratamiento.

– **Diámetro de planta**

Se realizó la medición del diámetro de tallo a una altura de dos cm sobre la base debido a que se realizó un marcado para las posteriores mediciones ya que con las actividades algunas o riego a gran proporción puede variar la dimensión de la altura debido a que disminuya la base de la planta. La medición del diámetro del tallo se realizó mediante un vernier mecánico con precisión a centésimas de centímetros y para no errar en evaluaciones entre cada individuo, se consideró la orientación de la medición hacia el norte.

– **Índice de robustez**

Se generó de los datos de altura y el diámetro de la planta, es la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro de la planta (mm); es un indicador de la resistencia de la planta ante las adversidades de la naturaleza, así como la supervivencia y el crecimiento potencial en sitios secos.

– **Biomasa parte aérea y radicular**

Esta se ha evaluado al final (a los cuatro meses) matando los plantones, para la biomasa parte aérea se cortó al ras del vástago y se pesó (peso húmedo), posteriormente se ha secado y se pesó (peso seco). Para la biomasa radicular se procedió con el lavado de las raíces, una vez ventilado la humedad se procedió al pesado (peso húmedo) de la raíz luego al secado del mismo, finalmente se pesó el sistema radicular (peso seco). Se evaluó 03 individuos por unidad experimental. Para ello se tomó los plantones promedio.

– **Porcentaje de colonización micorrízica**

El porcentaje de colonización del HMA se realizó con el método de Giovanneti y Mosse (1980), previa tinción de las raíces mediante la técnica de Phillips y Hayman (1970). El nivel de colonización bacteriano interno de la raíz se efectuó con la técnica de Döbereiner (1992). Estos parámetros se evalúan una unidad/planta por tratamiento/combinación y se repetirá el proceso para cada tratamiento, para ello se tomó los plantones promedio.

$$\text{Colonización (\%)} = \frac{N^{\circ} \text{ de campos infectados}}{N^{\circ} \text{ de campos observados}} * 100$$

– Porcentaje de la eficiencia micorrízica

Se realizó con la siguiente formulada propuesta por Colozzi-Filho y Siqueira (1986).

$$\text{Eficiencia} = \left(\frac{\text{Altura de plantas inoculadas}}{\text{Altura de plantas control}} * 100 \right) - 100$$

Finalmente se llevó la muestra al laboratorio biológico de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi para su respectiva verificación microscópica.

3.3.7.3. Fase de gabinete

Una vez tabulado los datos, se procedió a realizar su respectivo análisis en el programa estadístico SPSS v. 25, en donde la contrastación de hipótesis se realizó mediante el análisis de la varianza y en algunas evaluaciones se encontró significancia estadística y se procedió con la comparación de medias mediante la prueba de Tukey, ambos análisis a un nivel de confiabilidad del 95% y un error del 5%. Posterior al análisis de los datos, se sometieron a la interpretación y la redacción del informe final de la tesis.

3.3.7.4. Análisis económico

Se realizó el análisis económico para cada tratamiento con la finalidad de observar comparativamente que tratamiento posee mayor rentabilidad, la relación: Beneficio/costo y el índice de rentabilidad, para lo cual se tomará parámetros económicos, como ingreso bruto y la utilidad neta, donde:

Ingreso bruto = Numero de plántones por hectárea X precio de cada plántón.

Utilidad neta = Ingreso bruto – inversión total.

Relación Beneficio/Costo = Ingreso bruto/inversión total.

Tabla 4. Análisis de costo de producción de plantones de café por hectárea.

Trat.	PT	CV	MS	LIB	R	MO	S	MI	CMyF	C. Total (S/)	Plantas/ha	I. B.	U. (S/)	I. R.	B/C
T ₁	100	200	50	200	50	300	250	0	100	1250	2500	6250	3900	1,66	2,66
T ₂	100	200	50	200	50	300	250	750	100	2000	2500	6250	3740	1,49	2,49
T ₃	100	200	50	200	50	300	250	1500	100	2750	2500	6250	3500	1,27	2,27
T ₄	100	200	50	200	50	300	250	2250	100	3500	2500	6250	2750	0,79	1,79
T ₅	100	200	50	200	50	300	250	3000	100	4250	2500	6250	2000	0,47	1,47
T ₆	100	200	50	200	50	300	200	0	100	1200	2500	5000	3150	1,70	2,70
T ₇	100	200	50	200	50	300	200	750	100	1950	2500	5000	3050	1,56	2,56
T ₈	100	200	50	200	50	300	200	1500	100	2700	2500	5000	2300	0,85	1,85
T ₉	100	200	50	200	50	300	200	2250	100	3450	2500	5000	1550	0,45	1,45
T ₁₀	100	200	50	200	50	300	200	3000	100	4200	2500	5000	800	0,19	1,19
T ₁₁	100	200	50	200	50	300	70	0	100	1070	2500	2500	1430	1,34	2,34
T ₁₂	100	200	50	200	50	300	70	750	100	1820	2500	2500	1330	1,14	2,14
T ₁₃	100	200	50	200	50	300	70	1500	100	2570	2500	2500	1180	0,89	1,89
T ₁₄	100	200	50	200	50	300	70	2250	100	3320	2500	2500	1030	0,70	1,70
T ₁₅	100	200	50	200	50	300	70	3000	100	4070	2500	2500	930	0,59	1,59

PT: Preparación del terreno	MO: Mano de obra		B = A
CV: Construcción de vivero	S: Semilla	IB: Ingreso bruto	D = C x 2,5, 2, 1
MS: Mezcla de sustrato	MI: Micorrizas	U: Utilidad	E = D - B
LIB: Llenado de bolsas	CM y F: Control de malezas y fitosanitario	IR: Índice de rentabilidad	F = E/B
R: Repique	CT: Costo total	B/C: Beneficio/Costo	G = D/B

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Calidad morfológica de los plántones en tres variedades de *C. arabica* (geisha roja, geisha amarilla y bourbon amarillo)

4.1.1. Altura

La producción de plántones de adecuada condición de *C. arabica*, en el valle de Inkawasi es fundamental por, ser el recurso o medio de exportación; del grano de café. Ejecutado en el vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales el centro poblado San Fernando, distrito Inkawasi. Las tres variedades de *C. arabica*, geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo aplicados en diferentes dosis de micorrizas, los datos de altura total de la planta después del repique (Tabla 5).

Tabla 5. Descriptivo de altura en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	18,26	0,55	3	3,00
	0,02	19,11	1,40	3	7,35
	0,04	20,56	0,07	3	0,34
	0,06	23,92	0,81	3	3,40
	0,08	30,18	0,49	3	1,64
	Total		22,40	4,54	15
Geisha amarilla	0,00	16,39	1,02	3	6,24
	0,02	18,55	0,06	3	0,30
	0,04	21,59	0,10	3	0,47
	0,06	23,38	0,13	3	0,55
	0,08	27,20	0,52	3	1,91
	Total		21,42	3,92	15
Buorbon amarillo	0,00	18,44	0,10	3	0,55
	0,02	16,89	0,69	3	4,07
	0,04	20,86	0,54	3	2,57
	0,06	23,41	1,06	3	4,52
	0,08	27,59	1,55	3	5,61
	Total		21,44	4,00	15

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Total	0,00	17,70	1,14	9	6,45
	0,02	18,18	1,27	9	6,97
	0,04	21,00	0,53	9	2,54
	0,06	23,57	0,72	9	3,06
	0,08	28,32	1,64	9	5,80
	Total	21,75	4,09	45	18,81

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza se logró demostrar los efectos significativos en las tres fuentes de variación como: en las diferentes variedades de café (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo), en el uso de dosis de micorrizas en diferentes cantidades (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg), y la interacción de ambas fuentes sobre el desarrollo de la altura total de los plantones existe una diferencia de acuerdo a la variedad y la dosis empleado en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 6).

Tabla 6. ANVA para altura de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	9,519	2	4,760	8,094	0,002*
Micorriza	685,834	4	171,459	291,569	0,000**
Variedad * Micorriza	24,066	8	3,008	5,116	0,000**
Error	17,642	30	0,588		
Total corregido	737,061	44			

*: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,05, **: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

En la altura total de los plantones de café desarrollado en vivero de la CAC Valle de Incahuasi en un periodo de cuatro meses de evaluación, en el análisis de varianza resumido se muestra univariadamente el efecto de cada uno. Por lo tanto, la aplicación del uso de micorrizas en diferentes dosis empleados al inicio de embolsado dio el resultado positivo y así mismo también se muestra las diferencias en las variedades de café en el crecimiento de la altura total, con un valor estadísticamente significativo en cada uno de las variables en consideración (Tabla 7).

Tabla 7. ANVA resumido de los efectos simples para la altura total del café en cuatro meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	282,453	4,000	70,613	110,942	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	212,342	4,000	53,086	196,981	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	215,105	4,000	53,776	62,663	0,000**
0,00 kg en variedad	7,700	2,000	3,850	8,510	0,018*
0,02 kg en variedad	7,943	2,000	3,972	4,869	0,055 ^{ns}
0,04 kg en variedad	1,665	2,000	0,833	8,243	0,019*
0,06 kg en variedad	0,553	2,000	0,276	0,461	0,651 ^{ns}
0,08 kg en variedad	15,723	2,000	7,862	8,094	0,020*

*: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,05, **: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

Al utilizar las diferentes dosis de micorrizas en variedades distintos de café, el mejor promedio de 30,18 cm en altura es la variedad de geisha roja con una dosis de 0,08 kg de micorriza en un periodo de evaluación de cuatros meses de edad, luego las variedades de geisha amarilla y bourbón amarillo son similares en altura con dosis de 0,08 kg de micorriza, finalmente al aplicar 0,06 kg de micorriza no diferencia las tres variedades de café (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la altura total en cuatro meses de edad.

Variedades	Dosis de micorrizas				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	18,26 ^{d/b}	19,11 ^{cd/a}	20,56 ^{c/b}	23,92 ^{b/a}	30,18 ^{a/a}
Geisha amarilla	16,39 ^{e/a}	18,55 ^{d/a}	21,59 ^{c/a}	23,38 ^{b/a}	27,20 ^{a/b}
Buorbon amarillo	18,44 ^{d/b}	16,89 ^{cd/a}	20,86 ^{c/ab}	23,41 ^{b/a}	27,59 ^{a/b}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El comportamiento de la altura de las plantas es notorio en cuatro meses de edad, de las variedades siendo superior geisha roja con dosis de 0,08 kg HMA (Figura 2).

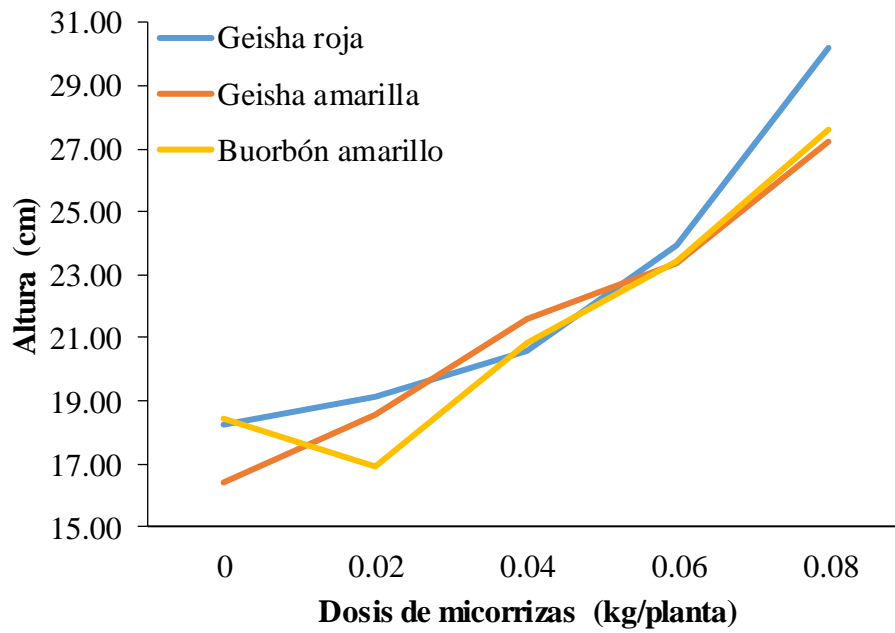


Figura 2. Promedios de la altura total al utilizar variedades y dosis de micorriza en plantones de café en cuatro meses de edad.

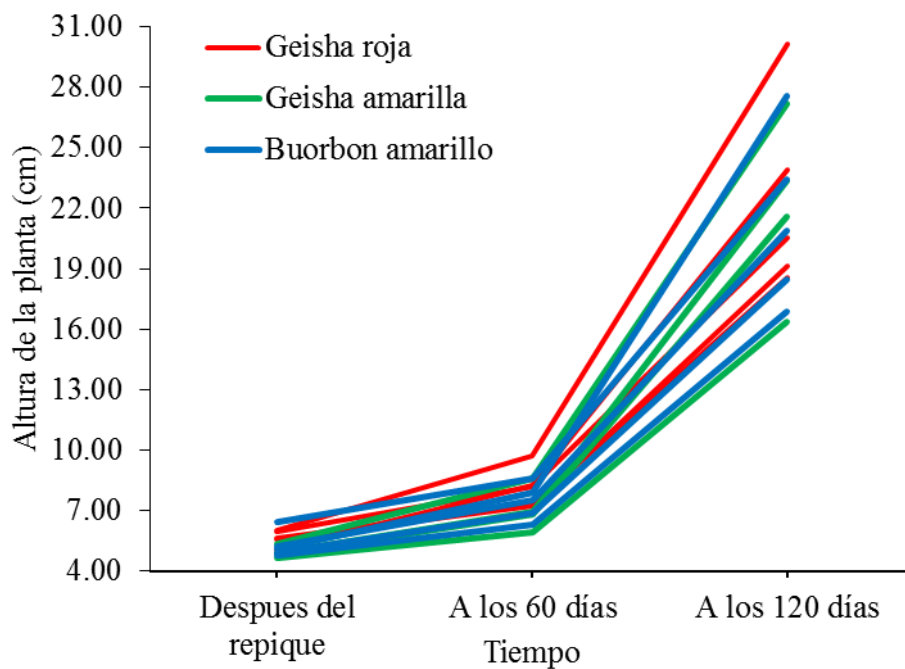


Figura 3. Altura total según el tiempo de desarrollo de los plantones de café de las tres variedades en diferentes dosis.

Para el incremento en altura de la producción de plantones de *C. arabica* (café), desarrollado en vivero de CAC Valle de Incahuasi, descriptivamente las tres

variedades (Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) desarrollaron positivamente, pero el que marco diferencia en altura fue el tratamiento empleado con dosis de 0,08 kg de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), y la mayor variabilidad o heterogeneidad se muestra en las dosis (0,00 y 0,02 kg). los efectos de los incrementos en altura total de la planta se muestran en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 9).

Tabla 9. Descriptivo de incremento en altura en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	12,59	0,54	3	4,26
	0,02	13,63	1,46	3	10,68
	0,04	14,60	1,14	3	7,78
	0,06	18,88	0,22	3	1,15
	0,08	24,19	0,52	3	2,13
	Total	16,78	4,49	15	26,77
Geisha amarilla	0,00	11,75	1,48	3	12,58
	0,02	12,93	0,71	3	5,47
	0,04	16,69	0,44	3	2,65
	0,06	18,49	0,68	3	3,66
	0,08	21,89	0,66	3	3,01
	Total	16,35	3,89	15	23,81
Buorbon amarillo	0,00	13,53	0,65	3	4,79
	0,02	12,09	0,57	3	4,74
	0,04	15,67	0,50	3	3,17
	0,06	17,02	1,06	3	6,23
	0,08	22,52	1,42	3	6,32
	Total	16,17	3,81	15	23,54
Total	0,00	12,63	1,15	9	9,09
	0,02	12,88	1,09	9	8,44
	0,04	15,65	1,12	9	7,14
	0,06	18,13	1,06	9	5,87
	0,08	22,86	1,32	9	5,77
	Total	16,43	3,99	45	24,28

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza se logró demostrar los efectos significativos en los fuentes de variación como: el uso de dosis de micorrizas en diferentes cantidades, mas no en variedades de café, en la interacción de ambas fuentes sobre el incremento de altura de los plantones en cuatro meses de edad existe diferencias significativas (Tabla 10).

Tabla 10. ANVA para el incremento de altura de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	2,970	2	1,485	1,867	0,172 ^{ns}
Micorriza	647,417	4	161,854	203,527	0,000**
Variedad * Micorriza	26,130	8	3,266	4,107	0,002**
Error	23,857	30	0,795		
Total	700,375	44			

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

En el incremento de altura de los plantones de café desarrollado en vivero de la cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales; el centro poblado San Fernando, del distrito Inkawasi, en un periodo de cuatro meses de evaluación se muestra el efecto del uso de micorrizas en diferentes dosis aplicados al inicio de embolsado, así mismo también se muestra diferencias en las variedades de café, con un valor estadísticamente significativo (Tabla 11).

Tabla 11. ANVA resumido de los efectos simples en el incremento de la altura total del café en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	274,412	4,000	68,603	85,493	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	204,713	4,000	51,178	67,768	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	194,422	4,000	48,606	58,695	0,000**
0,00 kg en variedad	4,752	2,000	2,376	2,461	0,166 ^{ns}
0,02 kg en variedad	3,562	2,000	1,781	1,812	0,242 ^{ns}
0,04 kg en variedad	6,533	2,000	3,266	5,658	0,042*
0,06 kg en variedad	5,795	2,000	2,897	5,336	0,047*
0,08 kg en variedad	8,459	2,000	4,229	4,661	0,060 ^{ns}

* : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,05, ** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

Al utilizar las diferentes dosis de micorrizas en las tres variedades de café, el mejor incremento en altura total se dio en las tres variedades, pero con la dosis de 0,08 kg de micorriza en un periodo de evaluación de cuatro meses de edad, sin embargo, en las dosis de micorrizas de 0,02 kg, 0,04 kg y 0,06 kg el incremento en altura se dio de acuerdo a la cantidad de dosis de los hongos micorrícicos arbusculares (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre el incremento de la altura total en cuatro meses de edad.

Variedades	Dosis de micorrizas				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	12,59 ^{c/a}	13,63 ^{c/a}	14,60 ^{c/b}	18,88 ^{b/a}	24,19 ^{a/a}
Geisha amarilla	11,75 ^{c/a}	12,93 ^{c/a}	16,69 ^{b/a}	18,49 ^{b/ab}	21,89 ^{a/a}
Buorbon amarillo	13,53 ^{d/a}	12,09 ^{cd/a}	15,67 ^{bc/ab}	17,02 ^{b/b}	22,52 ^{a/a}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El comportamiento de la altura de las plantas es notorio en cuatro meses de edad, de las variedades siendo superior geisha roja con una media de 24,19 cm de incremento en altura y una dosis de 0,08 kg HMA (Figura 4).

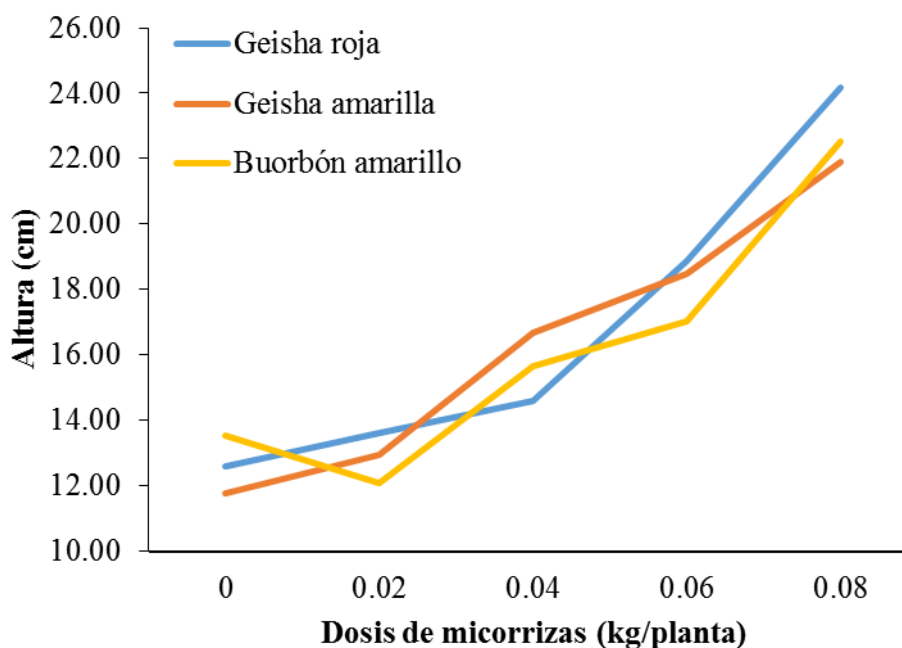


Figura 4. Promedios del incremento en la altura total al utilizar variedades y dosis de micorriza en plántones de café en cuatro meses de edad.

El comportamiento de desarrollo de altura total de las plantas de *C. arabica*, en tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) se demostró que las micorrizas hacen efecto en el incremento de altura de las plantas, pero la cantidad (dosis de micorriza) influye significativamente casi el doble de desarrollo en altura total con dosis de 0,08 kg de HMA (Tabla 11 y Figura 4). En los estudios de Hernández-Acosta (2020) y Hernández-Acosta et al. (2018) se verifican que las intervenciones con micorrizas presentan valores e incrementos altos en la altura de las plantas de *C. arabica*.

Según los resultados se ha visto que las cantidades o dosis influyeron en el crecimiento de las plantas de café, respecto a ello INTAGRI (2022) e INECOL (2024) mencionan las siguientes razones como: absorción de nutrientes, esto es debido a que las micorrizas incrementan la superficie de absorción de las raíces de la planta, facilitando la captación de nutrientes del suelo, en específico el fósforo, que puede ser limitante para el crecimiento de las plantas en muchos suelos. El segundo factor es la mejora de la disponibilidad de agua, los hongos micorrizógenos ayudan a las plantas a absorber más agua del suelo, lo que puede ser especialmente beneficioso en condiciones de sequía. El tercer factor es la protección contra patógenos, algunos hongos micorrizógenos ayudan a las plantas a protegerse contra patógenos del suelo, como ciertos hongos y nematodos, lo que puede promover crecimiento más saludable, finalmente la interacción con otros microorganismos, beneficia a las plantas afectando el crecimiento como por ejemplo facilitando la descomposición de la materia orgánica, liberando nutrientes adicionales para la absorción.

Una de las incógnitas fue que, en las primeras evaluaciones después del repique la medida de la altura total de la planta en diferentes dosis no mostraba diferencias, respecto a ello Revillas (2018) menciona que las micorrizas hacen efecto en un periodo o lapso de tiempo que involucra en las siguientes etapas como colonización (pre-colonización, penetración y colonización intra-radical) que consiste en desarrollo del micelio, la precolonización consiste en la actividad de los propágulos, esporas o raíces colonizadas a circundar la raíz, la penetración se caracteriza por la formación de un abultamiento en el punto de contacto sobre la superficie de la raíz que cada espora genera un sólo punto de entrada mientras que un segmento de raíz colonizado puede eventualmente originar más de uno. Así mismo el autor menciona que el efecto en el crecimiento de las plantas aplicado con HMA es notorio la diferencia a los tres meses después de la inoculación.

4.1.2. Diámetro

El diámetro de las plantas, conocido como grosor del tallo o diámetro del tronco, desempeña varios roles fundamentales en la fisiología de las plantas. Por lo tanto, la

producción de plántones de adecuada condición de *C. arabica* (café), es relevante para los productores del valle de Inkawasi, primero por ser el recurso o medio de exportación; del grano de café de la cuenca de Inkawasi y el segundo factor mantener la calidad del producto.

Tabla 13. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	0,24	0,01	3	2,72
	0,02	0,25	0,01	3	5,67
	0,04	0,27	0,01	3	2,43
	0,06	0,36	0,00	3	0,78
	0,08	0,46	0,00	3	0,88
	Total		0,32	0,09	15
Geisha amarilla	0,00	0,26	0,01	3	2,14
	0,02	0,27	0,01	3	3,39
	0,04	0,27	0,00	3	1,56
	0,06	0,37	0,00	3	0,52
	0,08	0,47	0,00	3	0,24
	Total		0,33	0,09	15
Bourbon amarillo	0,00	0,26	0,01	3	5,36
	0,02	0,27	0,01	3	1,89
	0,04	0,27	0,00	3	0,47
	0,06	0,38	0,01	3	2,64
	0,08	0,47	0,01	3	1,75
	Total		0,33	0,08	15
Total	0,00	0,25	0,01	9	4,87
	0,02	0,26	0,01	9	4,57
	0,04	0,27	0,00	9	1,68
	0,06	0,37	0,01	9	2,62
	0,08	0,46	0,01	9	1,50
	Total		0,32	0,08	45

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el ANVA no se logró demostrar los efectos significativos en la interacción, pero en el uso de dosis HMA (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg) si existe diferencias, pero en las variedades (Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) existe diferencias sobre el diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 14).

Tabla 14. ANVA para el diámetro del tallo de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	0,002	2	0,001	14,429	0,000**
Micorriza	0,304	4	0,076	1367,362	0,000**
Variedad * Micorriza	0,000	8	0,00004758	0,856	0,563 ^{ns}
Error	0,002	30	0,00005561		
Total corregido	0,308	44			

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

El desarrollo sobre el diámetro del tallo de los plantones de café de las tres variedades ratifica la existencia de las diferencias en cuatro meses de edad, sin embargo, las variedades de geisha amarilla y buorbon amarillo son iguales en diámetro (Tabla 15).

Tabla 15. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el diámetro del tallo en cuatro meses de edad.

Variedad	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Geisha roja	15	0,3155	b
Geisha amarilla	15	0,3256	a
Buorbon amarillo	15	0,3297	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El auge sobre el diámetro del tallo de los plantones en el uso de dosis de micorriza muestra efecto en cuatro meses, la proporción de 0,08 kg de HMA (Tabla 16).

Tabla 16. Prueba Tukey del efecto principal de las dosis de micorrizas sobre el diámetro del tallo en cuatro meses de edad.

Micorriza (kg)	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
0,00	9	0,25	d
0,02	9	0,26	c
0,04	9	0,27	c
0,06	9	0,37	b
0,08	9	0,46	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El incremento de los diámetros de café la mayor variabilidad se presenta con la dosis (0,00 y 0,02 kg de HMA), y la calidad mejora de acuerdo a la aplicación de dosis, desarrollado la investigación en la Cooperativa INCAHUASI – Cusco. Tomados las tres variedades geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo aplicados en dosis de (0,00; 0,02; 0,04; 0,06 y 0,08 kg de HMA), los efectos de incremento en diámetro se muestran en un periodo de cuatro meses (Tabla 17).

Tabla 17. Descriptivo de incremento en diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	0,13	0,01	3	4,04
	0,02	0,14	0,02	3	11,39
	0,04	0,15	0,01	3	4,38
	0,06	0,24	0,00	3	1,67
	0,08	0,34	0,00	3	1,18
	Total		0,20	0,08	15
Geisha amarilla	0,00	0,14	0,01	3	6,25
	0,02	0,15	0,01	3	5,96
	0,04	0,16	0,01	3	4,63
	0,06	0,25	0,00	3	1,51
	0,08	0,35	0,00	3	0,65
	Total		0,21	0,09	15

	0,00	0,15	0,01	3	9,48
	0,02	0,16	0,00	3	2,84
Buorbon amarillo	0,04	0,16	0,00	3	2,20
	0,06	0,27	0,01	3	3,70
	0,08	0,36	0,01	3	2,49
	Total	0,22	0,08	15	38,19
	0,00	0,14	0,01	9	10,28
	0,02	0,15	0,02	9	10,05
Total	0,04	0,16	0,01	9	5,14
	0,06	0,26	0,01	9	5,68
	0,08	0,35	0,01	9	2,94
	Total	0,21	0,08	45	39,70

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el incremento de diámetro del tallo de los plantones de *C. arabica* desarrollado en vivero de la CAC Valle de Incahuasi, en un periodo de cuatro meses de evaluación, en el cual se muestra el efecto del uso de micorrizas en diferentes dosis aplicados al inicio del embolsado y así también en las variedades de café existe diferencias entre variedades, el efecto no fue significativo en la interacción (Variedad * Micorriza) (Tabla 18).

Tabla 18. ANVA para el incremento de diámetro del tallo de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	0,004	2	0,002	32,020	0,000**
Micorriza	0,301	4	0,075	1131,766	0,000**
Variedad * Micorriza	0,000	8	0,00003514	0,529	0,825 ^{ns}
Error	0,002	30	0,00006642		
Total	0,307	44			

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

El progreso sobre el incremento de diámetro del tallo de los plantones en las tres variedades de *C. arabica* existe diferencia, la variedad de buorbon amarillo es mejor con una media 0,22 cm de diámetro de tallo respecto a otras variedades en estudio (Tabla 19).

Tabla 19. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el incremento de diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Geisha roja	15	0,20	c
Geisha amarilla	15	0,21	b
Buorbon amarillo	15	0,22	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Respecto al incremento sobre el diámetro del tallo de los plantones en el uso de diferentes dosis de micorriza muestra efecto en un periodo de cuatro meses de evaluación, la cantidad de 0,08 kg de HMA resultó el mayor diámetro del tallo (Tabla 20).

Tabla 20. Prueba Tukey del efecto principal de las dosis de micorrizas sobre el incremento de diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses.

Micorriza	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
0,00	9	0,14	d
0,02	9	0,15	cd
0,04	9	0,16	c
0,06	9	0,26	b
0,08	9	0,35	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

La dosis de micorrizas aplicado a las variedades de plantones de café (interacción) no repercutió en ratificar las diferencias sobre el incremento de diámetro del tallo en un periodo de cuatro meses de edad. En su estudio de Delgado (2021) también se encontró la evidencia de no demostrar el efecto en la interacción (insumos * variedad) en diámetro del tallo. Del mismo modo en su estudio de Tolentino (2023) no se demostró efecto en la interacción (insumos * variedad) en diámetro del tallo en un periodo de 110 días.

Dicho incremento de diámetro del tallo no se demostró diferencias en la interacción según Ramírez y Goyes (2004); Silva (2014) esto es debido a que la planta en la etapa de formación y desarrollo (alargamiento) primero define el crecimiento primario (prolongación en longitud) y luego define el crecimiento secundario (incremento en el diámetro de las raíces, tallos y ramas); y para que suceda esto, primero se requiere que desarrollen yemas axilares, la actividad de los meristemas laterales, el felógeno y el cambium vascular y todo ello posibilita el crecimiento del diámetro de la planta.

4.1.3. Robustez de la planta

La calidad de los plantones de café es fundamental para el éxito de una plantación, para ello se debe tomar factores desde un adecuado manejo, selección de semillas hasta el trasplante al campo, esencial para garantizar plantones de café saludables y productivos. El estudio desarrollado permite mostrar la calidad de plantones en producción de vivero aplicando dosis de micorrizas, para demostrar el efecto de los hongos micorrícicos arbusculares en la calidad de los plantones de café. El material biológico constituyó de las siguientes variedades geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo, el periodo de evaluación de cuatro meses (Tabla 21).

Tabla 21. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	8,12	0,13	3	1,65
	0,02	8,12	0,24	3	3,00
	0,04	8,13	0,14	3	1,76
	0,06	6,77	0,17	3	2,50
	0,08	6,72	0,08	3	1,15
	Total	7,57	0,71	15	9,43
Geisha amarilla	0,00	6,59	0,47	3	7,11
	0,02	7,32	0,34	3	4,66
	0,04	8,55	0,33	3	3,86
	0,06	6,49	0,07	3	1,02
	0,08	5,93	0,10	3	1,66
	Total	6,98	0,97	15	13,89
Buorbon amarillo	0,00	7,39	0,53	3	7,22
	0,02	6,50	0,28	3	4,25
	0,04	8,14	0,17	3	2,13
	0,06	6,36	0,13	3	2,07
	0,08	6,01	0,42	3	6,98
	Total	6,88	0,85	15	12,41

	0,00	7,37	0,75	9	10,23
	0,02	7,31	0,74	9	10,15
Total	0,04	8,27	0,29	9	3,49
	0,06	6,54	0,21	9	3,26
	0,08	6,22	0,44	9	7,00
	Total	7,14	0,89	45	12,43

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

La robustez de los plántones de *C. arabica* en un periodo de dos meses de edad, el cual muestra efectos significativos en la interacción del uso de micorrizas en diferentes dosis aplicados al inicio del embolsado con las variedades de café (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) (Tabla 22).

Tabla 22. ANVA para robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en cuatro meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	4,199	2	2,100	26,776	0,000**
Micorriza	23,175	4	5,794	73,888	0,000**
Variedad * Micorriza	4,946	8	0,618	7,884	0,000**
Error	2,352	30	0,078		
Total corregido	34,672	44			

** : existe diferencia estadística significativas con $p < 0,01$, ns: no existe diferencias estadísticas.

En el análisis de varianza resumido se muestra la existencia de diferencia y no significativos por cada uno; individualmente, así como en las variedades *C. arabica* (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) y la dosis de micorrizas aplicados en diferentes cantidades (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg) en un periodo de cuatro meses de evaluación en el vivero de la Cooperativa de INCAHUASI (Tabla 23).

Tabla 23. ANVA resumido de los efectos simples para la robustez en cuatro meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	6,862	4,000	1,716	64,931	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	12,225	4,000	3,056	33,267	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	9,033	4,000	2,258	19,310	0,000**
0,00 en variedad	3,495	2,000	1,748	10,032	0,012*
0,02 en variedad	3,908	2,000	1,954	23,251	0,001*
0,04 en variedad	0,347	2,000	0,173	3,264	0,110 ^{ns}
0,06 en variedad	0,263	2,000	0,132	7,836	0,021*
0,08 en variedad	1,131	2,000	0,566	8,853	0,016*

*: existe diferencia estadística significativas con p -valor $< 0,05$; **: existe diferencia estadística significativas con p -valor $< 0,01$; ns: no existe diferencias estadísticas.

Al utilizar las diferentes dosis de micorrizas en tres variedades de café, el mejor proporción o robustez de calidad en plántones son: la variedad de geisha amarilla es robusta sin dosis de micorriza; en el siguiente tratamiento las tres variedades son diferentes en robustez con dosis de 0,02 kg de micorriza y finalmente la mejor relación se encuentra en geisha amarilla y buorbon amarillo con dosis de 0,08 kg de micorriza, con índice de calidad alta en robustez (los mejores), en cuatro meses de edad (Tabla 24 y Figura 1 y 5).

Tabla 24. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la robustez en cuatro meses de edad.

Variedades	Dosis de micorrizas				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	8,12 ^{b/b}	8,12 ^{b/c}	8,13 ^{b/a}	6,77 ^{a/b}	6,72 ^{a/b}
Geisha amarilla	6,59 ^{ab/a}	7,32 ^{b/b}	8,55 ^{c/a}	6,49 ^{a/ab}	5,93 ^{a/a}
Buorbon amarillo	7,39 ^{bc/ab}	6,50 ^{ab/a}	8,14 ^{c/a}	6,36 ^{a/a}	6,01 ^{a/a}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

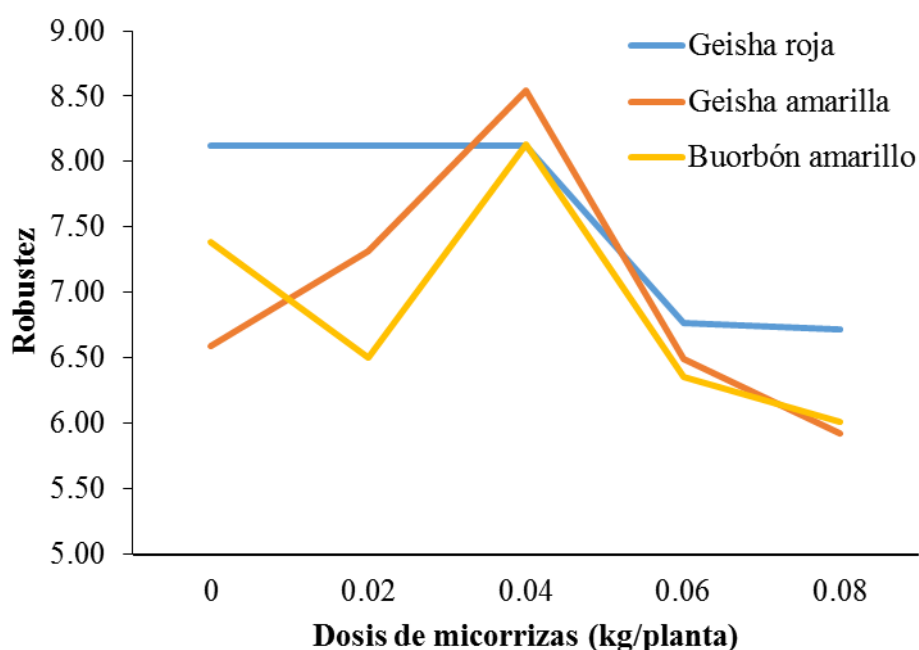


Figura 5. Promedios de la robustez al utilizar variedades y dosis de micorriza en plántones de café en cuatro meses de edad.

La producción de plántones de adecuada condición en calidad de *C. arabica* (café) es de suma importancia en el valle de Inkawasi por su competencia de calidad

a nivel mundial. El recurso o medio de exportación a distintos lugares del mundo es el grano de café por su excelencia calidad en consumo. La investigación se desarrolló en el vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales el centro poblado San Fernando, pertenecientes al distrito Inkawasi.

El desarrollo del estudio enfocado en obtener plantones de café de mejor calidad en tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) sin embargo para alterar o modificar, se utilizó hongo micorrizógeno arbuscular en diferentes dosis (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg) como insumo de los plantones, que los HMA permitirá beneficiar obteniendo nutriente y agua, y al mismo tiempo ambos serán beneficiados, las micorrizas obtendrán fotosíntesis y la planta nutriente y agua, finalmente el micelio del hongo se extenderá por el suelo ampliando el alcance mediante las raíces de forma exponencial.

Al final se muestra los descriptivos de incremento de robustez, en la variedad de geisha roja el mejor promedio alcanzó 1,61 cm en dosis de 0,08 kg de micorriza, en la variedad de geisha amarilla el mejor promedio alcanzó 1,30 cm en dosis de 0,08 kg de micorriza y finalmente la variedad de buorbon amarillo el mejor promedio alcanzó 1,25 cm en dosis de 0,08 kg de micorriza, todo ello en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 25).

Tabla 25. Descriptivo del incremento de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	3,05	0,57	3	18,57
	0,02	3,38	0,32	3	9,36
	0,04	3,09	1,03	3	33,23
	0,06	2,57	0,39	3	15,17
	0,08	1,61	0,48	3	29,50
	Total		2,74	0,82	15
Geisha amarilla	0,00	2,54	1,01	3	39,92
	0,02	2,40	0,84	3	35,02
	0,04	4,20	0,80	3	19,15
	0,06	2,14	0,62	3	28,83
	0,08	1,30	0,86	3	66,67
	Total		2,51	1,21	15

Buorbon amarillo	0,00	2,71	1,14	3	42,11
	0,02	1,99	0,53	3	26,51
	0,04	3,39	0,21	3	6,26
	0,06	0,44	0,21	3	47,26
	0,08	1,25	0,46	3	37,14
	Total	1,95	1,20	15	61,22
Total	0,00	2,77	0,84	9	30,53
	0,02	2,59	0,81	9	31,29
	0,04	3,56	0,83	9	23,21
	0,06	1,72	1,05	9	61,06
	0,08	1,39	0,57	9	41,22
	Total	2,40	1,12	45	46,47

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el incremento de robustez de los plántones de *C. arabica* en un periodo de cuatro meses de edad, no muestra efectos significativos estadísticos en la interacción del uso de micorrizas con las variedades de café. Sin embargo, las diferencias se muestran entre variedades, de igual manera sucede con las dosis de micorrizas (0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08 kg) en un periodo de tiempo de cuatro meses (Tabla 26).

Tabla 26. ANVA para el incremento de robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	4,935	2	2,467	5,109	0,012*
Micorriza	27,071	4	6,768	14,013	0,000**
Variedad * Micorriza	8,414	8	1,052	2,178	0,059 ^{ns}
Error	14,489	30	0,483		
Total	54,909	44			

*: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,05; **: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

La proporción en el incremento sobre los plántones de café, denominado la mejor calidad es la variedad de buorbon amarillo con una media de 1,95, esta diferencia solo entre las tres variedades en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 27).

Tabla 27. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el incremento de robustez en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Buorbon amarillo	15	1,95	a
Geisha amarilla	15	2,51	ab
Geisha roja	15	2,74	b

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Respecto a la proporción en el incremento sobre los plantones de café, la mejor calidad en la dosis de micorrizas es 0,08 kg HMA con una media de 1,39, esta diferencia solo entre las dosis de HMA en un periodo de cuatro meses de edad (Tabla 28).

Tabla 28. Prueba Tukey del efecto principal por las dosis de micorriza sobre el incremento de robustez en un periodo de cuatro meses.

Micorriza	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
0,08	9	1,39	a
0,06	9	1,72	ab
0,02	9	2,59	bc
0,00	9	2,77	cd
0,04	9	3,56	d

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

La calidad de los plantones de café es el resultado de una combinación de varios factores, desde la selección de semillas hasta el manejo adecuado en vivero. Finalmente, un manejo cuidadoso en todas estas etapas es esencial para asegurar el establecimiento exitoso y el desarrollo saludable de las plantas. Respecto a la calidad de plantas, Morales (2018) menciona que, en términos de las características morfológicas y fisiológicas, se logran con la aplicación de diversos tratamientos durante su producción en vivero, sin embargo, la calidad de una planta la determina su capacidad para desarrollarse adecuadamente.

Respecto a la calidad de los plantones de café desarrollados en el estudio en tres variedades (geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) dosificados con HMA en un periodo de cuatro meses en vivero de la Cooperativa INCAHUASI, resultado que no hubo significancia en los incrementos de robustez. Respecto a robustez Borjas-Ventura et al. (2018)

menciona que la estructura débil o frágil y que no están bien desarrolladas o vigorosas las plantas, porque una vez que las plántulas de café sean llevadas a campo definitivo requerirán de su capacidad para resistir condiciones adversas, como sequías, enfermedades, plagas, estrés por trasplante, entre otros factores ambientales.

4.1.4. Biomasa

4.1.4.1. Biomasa parte aérea

La biomasa de la parte aérea en peso seco esta referida a la cantidad total de materia orgánica presente en la porción de una planta seca realizado en estufa. Esta incluye las partes visibles de la planta de café, como hojas y tallos. Desarrollado en tres variedades de *C. arabica* (café), Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo (Tabla 29).

Tabla 29. Descriptivo de la biomasa aérea en peso seco en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (g)	DE	N	CV
Geisha roja	0,00	2,13	0,06	3	2,71
	0,02	2,15	0,01	3	0,47
	0,04	2,21	0,03	3	1,14
	0,06	2,65	0,01	3	0,22
	0,08	3,34	0,23	3	6,91
	Total		2,50	0,49	15
Geisha amarilla	0,00	2,46	0,05	3	2,11
	0,02	2,51	0,01	3	0,40
	0,04	2,49	0,07	3	2,90
	0,06	2,54	0,01	3	0,39
	0,08	3,03	0,06	3	1,90
	Total		2,61	0,23	15
Buorbon amarillo	0,00	2,49	0,01	3	0,40
	0,02	2,52	0,01	3	0,23
	0,04	2,54	0,00	3	0,00
	0,06	2,56	0,01	3	0,23
	0,08	3,10	0,10	3	3,23
	Total		2,64	0,24	15

	0,00	2,36	0,18	9	7,44
	0,02	2,39	0,18	9	7,60
	0,04	2,41	0,16	9	6,67
Total	0,06	2,58	0,05	9	1,90
	0,08	3,16	0,19	9	6,02
	Total	2,58	0,34	45	13,10

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza se logró demostrar los efectos altamente significativos estadísticamente en las tres fuentes de variación, variedad de café, dosis de micorriza y la interacción de ambas fuentes sobre biomasa aérea en peso seco en un periodo de cuatro meses edad (Tabla 30).

Tabla 30. ANVA para la biomasa aérea en peso seco por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	P-valor
Variedad	0,176	2	0,088	16,750	0,000**
Micorriza	4,003	4	1,001	190,176	0,000**
Variedad * Micorriza	0,693	8	0,087	16,463	0,000**
Error	0,158	30	0,005		
Total	5,030	44			

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01.

En el análisis de varianza resumido de los efectos simples para la biomasa aérea en condición de peso seco, se detalla individualmente cada fuente como: variedad de café y dosis de micorriza para demostrar la existencia de diferencias en cada una de ellas. El estudio fue desarrollado en vivero de la cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales; el centro poblado San Fernando, del distrito Inkawasi, en un periodo de cuatro meses (Tabla 31).

Tabla 31. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa aérea en peso seco en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	3,210	4,000	0,802	70,026	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	0,691	4,000	0,173	75,279	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	0,796	4,000	0,199	97,808	0,000**
0,00 kg en variedad	0,235	2,000	0,117	57,429	0,000**
0,02 kg en variedad	0,264	2,000	0,132	1697,714	0,000**
0,04 kg en variedad	0,195	2,000	0,098	49,977	0,000**
0,06 kg en variedad	0,019	2,000	0,009	169,800	0,000**
0,08 kg en variedad	0,156	2,000	0,078	3,519	0,097 ^{ns}

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01; ns: no existe diferencias estadísticas.

Al utilizar las diferentes dosis de micorrizas en las tres variedades de café, el mejor incremento en biomasa aérea en peso seco se dio en las tres variedades de café (Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo), pero con la dosis de 0,08 kg de micorriza. Finalmente, el comportamiento de incremento de las plantas de café se desarrolló de acuerdo a la cantidad de dosis de micorriza (Tabla 32).

Tabla 32. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa aérea en peso seco en un periodo de cuatro meses.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	2,13 ^{c/b}	2,15 ^{c/b}	2,21 ^{c/b}	2,65 ^{b/a}	3,34 ^{a/a}
Geisha amarilla	2,46 ^{b/a}	2,51 ^{b/a}	2,49 ^{b/a}	2,54 ^{b/c}	3,03 ^{a/a}
Buorbon amarillo	2,49 ^{b/a}	2,52 ^{b/a}	2,54 ^{b/a}	2,56 ^{b/b}	3,10 ^{a/a}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El comportamiento de la biomasa aérea en peso seco es notorio en cuatro meses de edad, las tres variedades siendo superior (Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo) de biomasa en una dosis de 0,08 kg de micorriza (Figura 6).

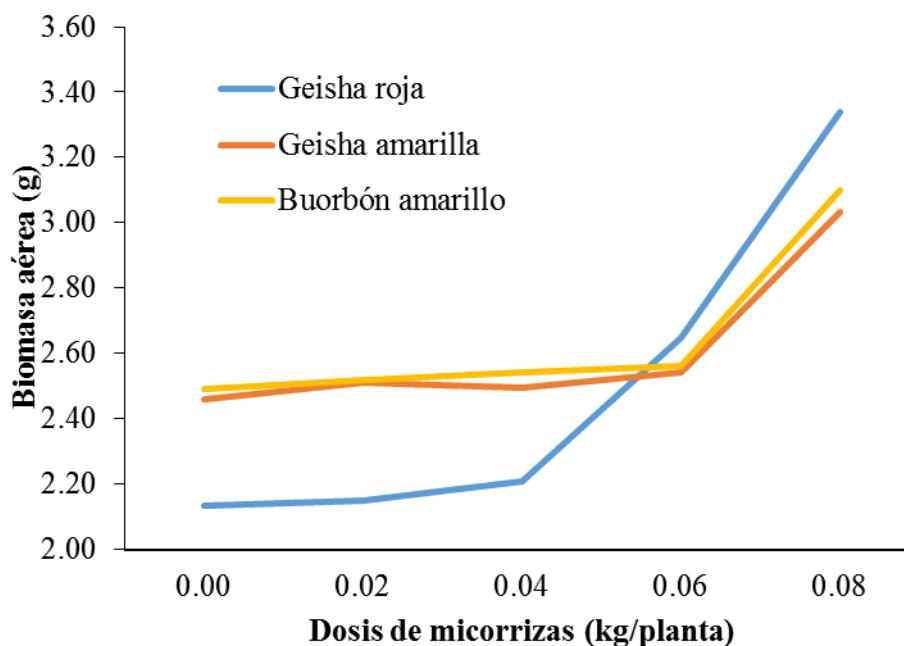


Figura 6. Promedios de biomasa aérea en peso seco al utilizar variedades y dosis de micorriza en un periodo de cuatro meses.

El comportamiento del peso en biomasa aérea es de acuerdo a la dosis de tratamientos del estudio, a mayor cantidad de dosis; plantas de mayor tamaño, por lo tanto, la biomasa es mayor. Respecto a ello Gayoso (2001) menciona que, cuyas proporciones varían tanto por especie como por el tamaño de los arbustos.

Por lo tanto, el desarrollo y crecimiento de las plantas definen el gran aporte de biomasa respecto a ello Torres et al. (2005) menciona que, la vegetación es la fuente de mayor aporte de biomasa y nutrientes al suelo. Sin embargo, estos insumos o activadores de la raíz (hongos micorrícicos arbusculares) de qué manera influyen en el desarrollo o crecimiento de las plantas, Arango (2017) menciona que, los abonos orgánicos, insumos orgánicos, compost, vermicompost, biofertilizantes y hongos micorrícicos arbusculares son de valor de importancia de alternativa de fertilización edáfica (recuperación de suelos), ya que suplen las necesidades biológicas del suelo, porque poseen propiedades fisicoquímicas que mejoran e incrementan la producción de cultivos, generando la resistencia a enfermedades y plagas en los mismos.

4.1.4.2. Biomasa radicular

La biomasa de la parte radicular en peso seco esta referida a la cantidad total de materia orgánica presente en la porción de una raíz seca de la planta que se encuentra debajo del suelo. Esta incluye las partes visibles de la planta de café, como raíces

principales y secundarios. Realizados en variedades de *C. arabica* (café), Geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo, ejecutado en el vivero de la Cooperativa Incahuasi (Tabla 33).

Tabla 33. Descriptivo de la biomasa radicular en peso seco en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (g)	DE	N	CV
Geisha roja	0,00	1,10	0,10	3	9,09
	0,02	1,23	0,23	3	18,72
	0,04	1,13	0,02	3	1,77
	0,06	1,36	0,01	3	0,74
	0,08	1,69	0,11	3	6,51
	Total	1,30	0,25	15	18,87
Geisha amarilla	0,00	1,25	0,01	3	0,46
	0,02	1,29	0,00	3	0,00
	0,04	1,30	0,01	3	0,44
	0,06	1,30	0,01	3	0,44
	0,08	1,54	0,01	3	0,37
	Total	1,34	0,11	15	8,04
Buorbon amarillo	0,00	1,28	0,01	3	0,45
	0,02	1,29	0,01	3	0,45
	0,04	1,31	0,01	3	0,44
	0,06	1,31	0,01	3	0,44
	0,08	1,51	0,01	3	0,66
	Total	1,34	0,09	15	6,72
Total	0,00	1,21	0,10	9	8,02
	0,02	1,27	0,12	9	9,35
	0,04	1,25	0,09	9	7,07
	0,06	1,33	0,03	9	2,04
	0,08	1,58	0,10	9	6,39
	Total	1,33	0,16	45	12,10

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

En el análisis de varianza se logró demostrar los efectos altamente significativos estadísticamente en las fuentes de variación, mas no en las variedad de café, sin embargo demostró diferencias en las dosis de micorriza y la interacción de ambas fuentes sobre biomasa radical en peso seco en un periodo de cuatro meses edad (Tabla 34).

Tabla 34. ANVA para la biomasa radicular en peso seco por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	P-valor
Variedad	0,012	2	0,006	1,227	0,308 ^{ns}
Micorriza	0,797	4	0,199	39,143	0,000**
Variedad * Micorriza	0,173	8	0,022	4,245	0,002*
Error	0,153	30	0,005		
Total	1,135	44			

*: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,05; **: existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01, ns: no existe diferencias estadísticas.

En el análisis de varianza resumido de los efectos simples para la biomasa radical en condición de peso seco, se detalla individualmente cada fuente como: variedad de café y dosis de micorriza para demostrar la existencia de diferencias en cada una de ellas. El estudio fue desarrollado en vivero de la cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales; el centro poblado San Fernando, del distrito Inkawasi, en un periodo de cuatro meses (Tabla 35).

Tabla 35. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa radicular en peso seco en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	3,210	4,000	0,802	70,026	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	0,691	4,000	0,173	75,279	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	0,796	4,000	0,199	97,808	0,000**
0,00 kg en variedad	0,235	2,000	0,117	57,429	0,000**
0,02 kg en variedad	0,264	2,000	0,132	1697,714	0,000**
0,04 kg en variedad	0,195	2,000	0,098	49,977	0,000**
0,06 kg en variedad	0,019	2,000	0,009	169,800	0,000**
0,08 kg en variedad	0,156	2,000	0,078	3,519	0,097 ^{ns}

** : existe diferencia estadística significativas con p-valor <0,01; ns: no existe diferencias estadísticas.

Al aplicar las diferentes dosis de micorrizas en las tres variedades de café, el mejor incremento en biomasa radical en peso seco se dio en la variedad de geisha roja, pero con la dosis de 0,08 kg de micorriza con una media de 1,69 gr/planta, sin embargo, las otras dos variedades poseen menor peso húmedo. Finalmente, el comportamiento de incremento se desarrolló de acuerdo a la cantidad de HMA (Tabla 36).

Tabla 36. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa radicular en peso seco en un periodo de cuatro meses.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	1,10 ^{b/b}	1,23 ^{b/a}	1,13 ^{b/b}	1,36 ^{b/a}	1,69 ^{a/a}
Geisha amarilla	1,25 ^{c/a}	1,29 ^{b/a}	1,30 ^{b/a}	1,30 ^{b/b}	1,54 ^{a/ab}
Buorbon amarillo	1,28 ^{c/a}	1,29 ^{c/a}	1,31 ^{b/a}	1,31 ^{b/b}	1,51 ^{a/b}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

El comportamiento de la biomasa radical en peso seco es notorio en cuatro meses, siendo superior la variedad de geisha roja y las dos variedades siendo inferior en el peso de biomasa geisha amarilla y buorbon amarillo (Figura 7).

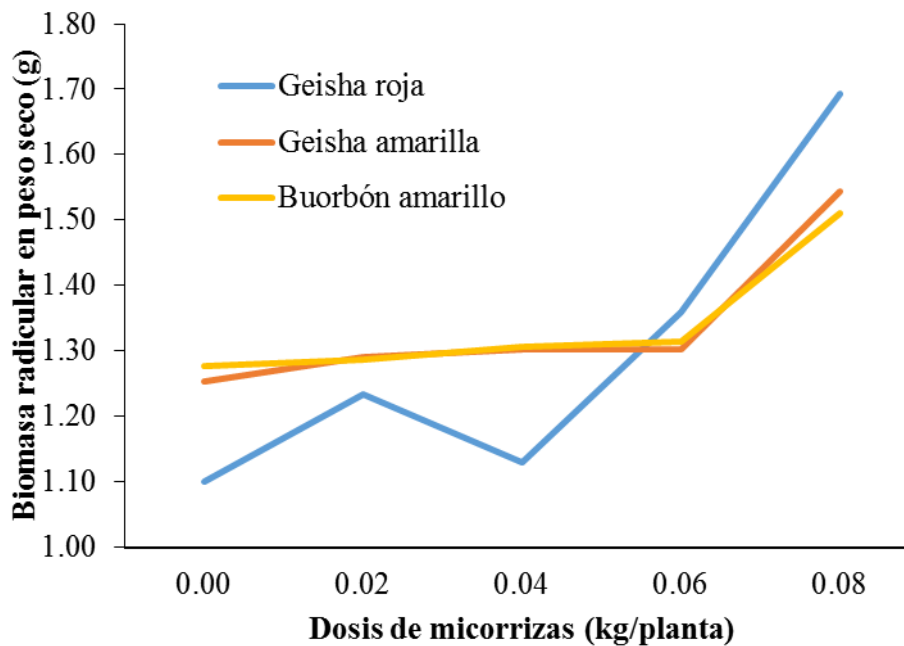


Figura 7. Promedios de biomasa radicular en peso seco al utilizar variedades y dosis de micorriza en un periodo de cuatro meses.

La biomasa de la parte radical de las plantas es igualmente importante que la biomasa de la parte aérea, aunque a menudo es menos visible y más difícil

de medir, pero la parte radical comprende las raíces en este estudio, respecto a ello Hertel et al. (2003) menciona que cuanto mayor sea el área radical mayor serán los tricoblastos que están directamente relacionadas con la obtención de agua y nutrientes del suelo.

Sin embargo, en un estudio realizado en la Estación Biológica La Selva en Costa Rica, Raich (1983) analizó que los componentes de biomasa radical son diferentes en: (bosques húmedos y secundarios), cabe mencionar que cada zona, lugar o punto de estudio es distinto por varios factores que alteran.

En el estudio desarrollado el mayor valor en la interacción de variables en el uso de micorrizas y las variedades de café, demostró diferencias la variedad de geisha roja obteniendo mayores resultados en las dosis de 0,06 y 0,08 kg HMA. Ramírez y Goyes (2004); Silva (2014) mencionan que cuando haya sustento concentrado en un punto (micorrizas o insumos relevantes); la posibilidad de prosperar será comprometido (a desarrollo de la raíz de la planta).

Por otro lado, también influyen otros factores como las características de las plantas. Morales (2018) menciona que, las características morfológicas y fisiológicas, son otros de los factores que intervienen en el desarrollo, a esto sumamos más la interacción de insumos el desarrollo será considerable.

4.2. Colonización de micorrizas en tres variedades de *C. arabica* (geisha, bourbon rojo y amarillo)

La colonización de micorrizas es un proceso dinámico y complejo que contribuye significativamente al crecimiento y desarrollo saludable de las plantas y juega un papel fundamental en la salud y la fertilidad del suelo. Por lo tanto, la producción de plántones de adecuada condición de *C. arabica* (café), en el valle de Inkawasi es importante por ser el recurso de exportación del grano de café.

La investigación se desarrolló en el vivero de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi, en uno de sus sucursales el centro poblado San Fernando, distrito Inkawasi. Con tres variedades geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo aplicados en diferentes dosis de micorrizas, y la cuantificación de colonización se desarrolló en el laboratorio biológico de la Cooperativa Agraria Cafetalera Valle de Incahuasi.

Las variedades de café muestran diferentes respuestas sobre la colonización de micorrizas, sin embargo, la variedad de geisha roja asimiló mejor, respecto a la proporción o dosis de HMA influyo de manera significativa (Tabla 37, Figuras 8 y 9).

Tabla 37. Descripción de colonización y eficiencia de micorriza en el crecimiento de las plantas de café en tres variedades.

Tratamiento	Variedad	Micorriza (kg)	Colonización (%)	Eficiencia (%)
1	Geisha roja	0,00	21,16	0,00
2	Geisha roja	0,02	27,63	9,67
3	Geisha roja	0,04	30,35	12,70
4	Geisha roja	0,06	45,38	31,18
5	Geisha roja	0,08	57,08	65,40
6	Geisha amarilla	0,00	15,46	0,00
7	Geisha amarilla	0,02	28,46	13,42
8	Geisha amarilla	0,04	29,08	32,01
9	Geisha amarilla	0,06	42,25	42,99
10	Geisha amarilla	0,08	54,11	66,43
11	Buorbon amarillo	0,00	12,27	0,00
12	Buorbon amarillo	0,02	22,06	-8,37
13	Buorbon amarillo	0,04	31,45	13,14
14	Buorbon amarillo	0,06	34,89	26,94
15	Buorbon amarillo	0,08	52,31	49,65

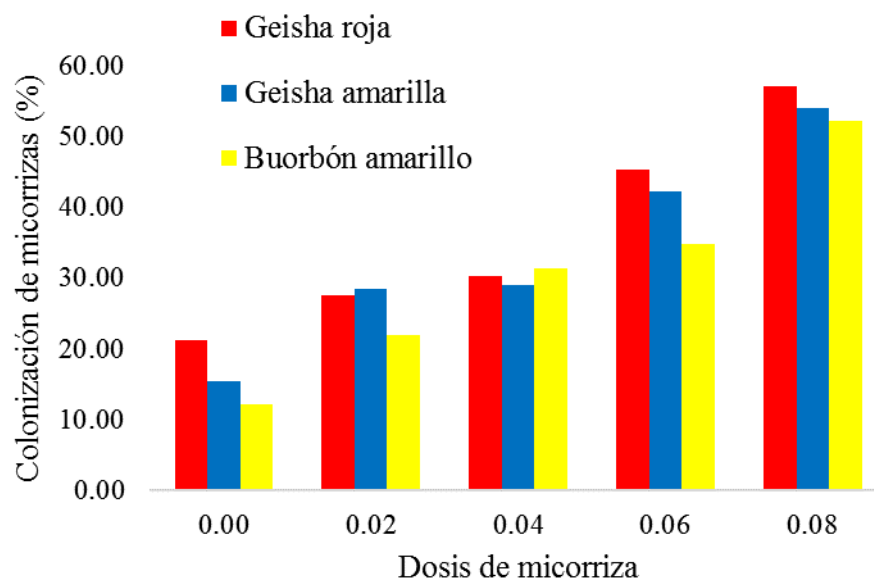


Figura 8. Porcentaje de colonización de micorriza en las variedades de geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo.

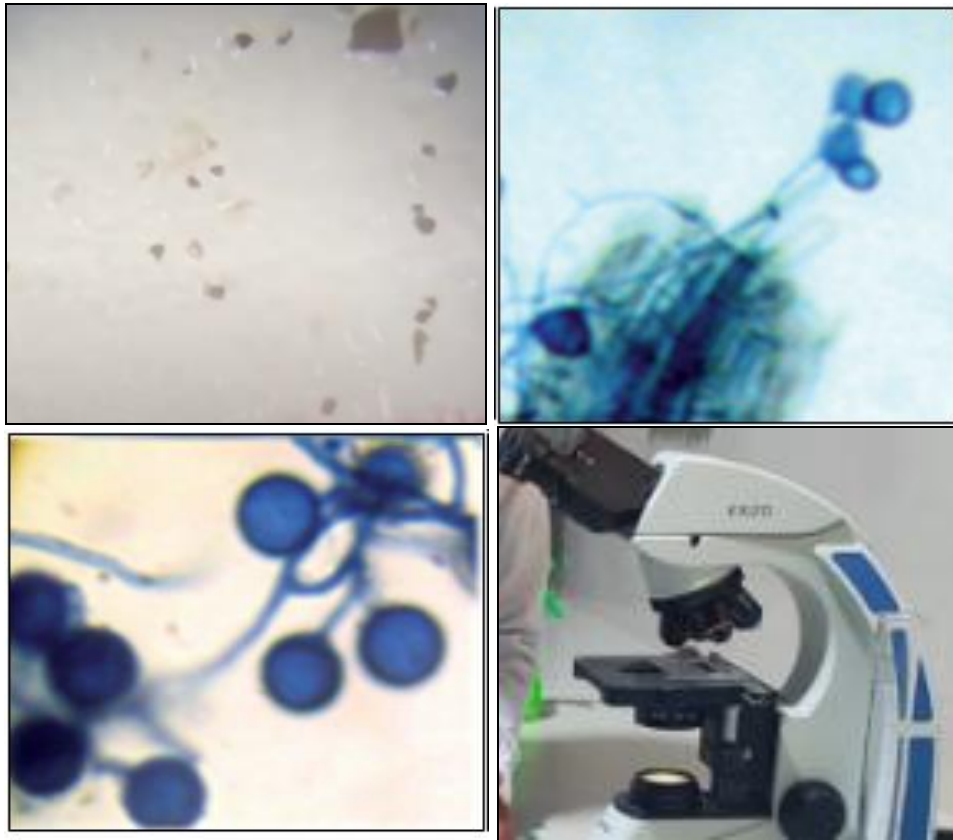


Figura 9. Colonización de HMA en raíces de *C. arabica* (geisha roja, geisha amarilla bourbon amarillo).

En el estudio repercutió a una respuesta positiva la dosis de 0,08 kg de HMA con mayor número de colonización, también en el estudio de Zavala (2024) realizado con diferentes dosis de micorriza más otros insumos, la respuesta más significativa representó en el tratamiento con mayor dosis. Ahora la interrogante es ¿de qué manera afectan las variedades de café en la colonización? La respuesta de las variedades es distinta, porque cada variedad responde de acuerdo a la estimulación y liberación de exsudados radiculares, la raíz debe estar funcional debe haber dinámica radicular (Velázquez, 2023).

¿A qué se debe la mayor respuesta de colonización? La estimulación o la inoculación de bacterias estimuladoras como rhizobium, azospirillum y algunas fijadoras de nitrógeno estimulan a la raíz y la raíz libera mayor cantidad de exsudados radiculares. Finalmente, hongo envía un factor de micorrización a la raíz y la raíz libera strigolactones y empieza la micorrización, es decir podemos inocular hongos micorrizógenos al suelo, pero si la raíz no está funcional, no está liberando esas señales químicas no se hace la micorrización (Velázquez, 2023).

V. CONCLUSIONES

1. Se logró demostrar efectos estadísticos significativos al utilizar dosis de hongos micorrícicos arbusculares en la calidad de los plántones de *C. arabica* en tres variedades geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo desarrollado en condiciones de vivero, las variables evaluadas son: la altura total, diámetro del tallo, la robustez, la biomasa aérea y radical, además la mejor presentación en calidad de plántones dependió de la respuesta del factor variedad y la dosis de micorriza en la siguiente orden: geisha roja, geisha amarilla y finalmente buorbon amarillo.
2. Respecto a la calidad morfológica de los plántones de *C. arábica* en tres variedades geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo desarrollado en condiciones de vivero, se observó una ligera superioridad en el desarrollo de plantas con dosis de 0,08 kg de HMA en la altura total, diámetro del tallo, la robustez, la biomasa aérea y radical.
3. La cuantificación de colonización micorrícica en las raíces de *C. arabica* en las variedades de geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo, se observó una ligera superioridad en las plantas con dosis de 0,08 kg de HMA, finalmente la eficiencia es mejor con mayor cantidad de dosis y en la siguiente orden de mérito geisha roja, geisha amarilla y buorbon amarillo.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Realizar estudios con las variedades de café que mejor se adapten al entorno de la zona de estudio, para lograr cuál de las variedades se desarrollan mejor con tratamientos de insumos (asimilan mejor a la estimulación de hongos micorrícicos arbusculares).
2. Desarrollar estudios, para conocer una dosis de HMA mínimos y máximos aceptables para un desarrollo normal de la planta, con el fin de no cometer excesos y carencias en la aplicación de HMA.
3. Plantear y desarrollar la interrogante en los próximos estudios ¿a qué se debe que las raíces en áreas con condiciones homogéneas su funcionalidad y la no liberación de esas señales químicas se encuentran de limitado dinámica radicular? Es por el cual no existe la óptima micorrización efectiva en el suelo como medio de desarrollo.

VII. REFERENCIAS

- Adriano, M., Jarquín, R., Hernández, C., Salvador, M., Monreal, C. (2011). Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(3), 417-431. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000300009
- Aguirre, J., Moroyoqui, D., Mendoza, A., Cadena, J., Avendaño, C., Aguirre, J. (2011). Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agron. Moseoam*, 22, 71-80.
- Antunes, V., Silveira, A., Cardoso, E. (1988). Interação entre diferentes tipos de solo e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares na produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.). *Turrialba*, 38(2), 117-122.
- Arango, M. (2017). *Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos*. [Tesis de pregrado, Unilasallista Corporación Universitaria]. Repositorio UNILASALLISTA. <http://hdl.handle.net/10567/2036>
- Arteaga, M., Tafur, S., Pérez, G., Pastor, S., Mainegra, A. (2020). Caracterización de la colonización por micorrizas en *Retrophyllum rospigliossi* Pilger en el bosque Huamantanga, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(3), 535-549. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000300535
- Balota, E., Machineski, O., Scherer, A. (2012). Mycorrhizal effectiveness on physic nut as influenced by phosphate fertilization levels. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 23-32.
- Barea, J., Azcon, C., Ocampo, J. (1991). *Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares*. In: *fijación y movilización de nutrimentos II. Fijación de nitrógeno y micorrizas*. Madrid. 150-173 p.
- Barea, J. (2002). *Rhizosphere and mycorrhizal of frield crops: Biological resource management connecting. Connecting Science and Policy*. Heidelberg, New York: INRA Editions, Springer-Verlag.
- Barker, S., Tagu, D., Delp, G. (1998). Regulation of root and fungal morphogenesis in mycorrhizal symbiosis. *Plant Physiology*, 116, 1201-1207.
- Barrer, S. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 123-132. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>

- Blancof, F., Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 55-67.
- Biermann, B., Linderman, R. (1981). Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizae: A proposed method towards standardization. *New phytol*, 87, 63-67.
- Borjas, R., Andía, E., Alarcón, G., Estelita, S. y Julca-Otiniano, A. (2018). Crecimiento y calidad de plántulas de café (*Coffea arabica*) injertadas sobre *Coffea canephora* frente a nematodos en vivero. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 28-41. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2018.060200028>
- Botero, C., Dussán, J. (2001). La micorrización del aliso *Alnus acuminata* H.B.K. *subsp. Acuminata* con suelos nativos y su influencia sobre el crecimiento. *Actual Biol*, 23(75), 33-40.
- Calzada, J. (1970). *Métodos estadísticos para la investigación*. 3era edición. Editorial jurídica S.A. 643 p.
- Cavagnaro, T., Gao, L., Smith, F., Smith, S. (2001). Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. *New Phytologist*, 151, 469-475.
- Colozzi, A., Cardoso, E. (2000). Detecção de fungos micorrizicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotolária cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(10), 2033-2042.
- Colozzi, A., Siqueira, J. (1986). Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e edubacão fosfatotada no crescimento e nutrição. *Rev. Bras. Ciênc*, 10, 199-205.
- Da Silva, J., Cardoso, E. (2007). Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroforestal e em monocultivo na Amazônia Central. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41(5), 819-825.
- Delgado, C. (2021). *Efecto de los abonos orgánicos en la producción de dos variedades de café (coffea arabica) a nivel de invernadero en el distrito de Bagua Grande, Amazonas – 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio UNTRM. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/2348>
- Döbereiner, J. (1992). History and new perspectives of diazotrophs in association with non legumenous plants. *Symbiosis*, 13, 1-13.
- Douds, D., Millner, P. (1999). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74, 77-93.

- Gadkar, V., David, R., Kunik, T., Kapulnik, Y. (2001). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. factors involved in host recognition. *Plant Physiology*, 27, 1493-1499.
- Gayoso, A. (2001). *Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile*. Trabajo presentado en el Taller Secuestro de Carbono. Mérida, Venezuela. Universidad Austral de Chile. 22 p.
- Giovannetti, M., Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular micorrhizal infection in roots. *New Phytol*, 84, 489-500.
- Giovanetti, M., Sbrana, C. (1998). Meeting a non-host: the behavior of AM fungi. *Mycorrhiza*, 8, 123-130.
- Hernández, E., Trejo, D., Ferrera, F., Rivera, A., González, M. (2018). Hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) variedades garnica, catimor, caturra y catuaí. *Agro productividad*, 11, 61-67.
- Hernández, E., Trejo, D., Rivera, A., Ferrera, R. (2020). La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 613-628. <https://www.redalyc.org/journal/573/57364776016/html/>
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hertel, D.; Leuschner, C.; Hölscher. (2003). Size and structure of fine root systems in oldgrowth and secondary tropical montane forests (Costa Rica). *Biotropica*, 35(2), 143-153.
- Ibarra, J., Aguirre, J., Ley-De Coss, A., Cadena, J., Zavala, G. (2014). *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Rev. Chapingo. Serie Hortic*, 20, 201-213.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2020). *Guía Práctica de Caficultura*. Instituciones colaboradores CSC (Consejo Salvadoreño del Café), UE (Unión Europea), PROCAGICA (Programa Centroamericano de Gestión Integral de la Roca del Café), CRS (Catholic Relief Services). 78 p. <https://iica.int/sites/default/files/2020-11/impresion%20GPCAFI%2010.2020.pdf>
- INECOL (Instituto de ecología). (2024). *Las bacterias que ayudan a las plantas a crecer*. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1360-las-bacterias-que-ayudan-a-las-plantas-a-crecer>
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). (2022). *Beneficios de las micorrizas sobre el estrés en plantas*.

<https://www.intagri.com/articulos/suelos/beneficios-de-las-micorrizas-sobre-el-estres-en-plantas>

- Klironomos, J. (2003). Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84(9), 2292-2301.
- Konrad, M. (2003). *Crescimento do cafeeiro sob influência do alumínio em solução nutritiva e em solo ácido, inoculado com micorrizas arbusculares*. Tese (Doutorado) UNICAMP, Campinas. 114 p.
- Konrad, M., Furlani, P., Cassiolato, A., Silveira, A. (2014). Resposta do cafeeiro à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, em latossolo vermelho de cerrado. *Uberlândia*, 30(4), 933-941. https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/10/947863/resposta-do-cafeeiro-a-inoculacao-de-fungos-micorrizicos-arbusc_NinW98n.pdf
- Maiorano, J. (2003). *Utilização de substratos orgânicos comerciais na obtenção de mudas micorrizadas de limoeiro "Cravo" em ambiente protegido*. Dissertação (Mestrado) Instituto Agronômico. Campinas. 62 p.
- Maiorano, J., Vieira, M., Silveira, A. (2002). *Características microbiológicas de substratos orgânicos*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, Campinas. Documentos IAC, 70. Campinas, Instituto Agronômico. 98 p.
- Massafera, F., Lopez, S., Dias, A. (2006). Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. *Bragantia*, 65, 649-658. doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000400016>
- Miranda, A. (2006). *Programa nacional de café: el café Geisha de Panamá rompe record mundial*. Panamá: MIDA. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A4506e/A4506e.pdf>
- Morales, E. (2018). *Indicadores de calidad de planta en viveros forestales del estado de Tamaulipas*. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio UANL. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/15965>
- Moreira, F., Siqueira, J. (2006). *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 626 p.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(5), 2816-2824.
- 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*. [Informe técnico de investigación, Escuela

- Politécnica del Ejército]. Repositorio ESPE.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2892/1/T-ESPE-IASA%20II-002332.pdf>
- PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). (2007). *Abono orgánico de pulpa de café*. Soporte técnico: Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua. http://www.funica.org.ni/docs/conser_sueyagua_02.pdf
- Peterson, L., Massicote, H., Melville, L. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Ottawa: NRC Research press, 173.
- Pérez, A., Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto *Bothriochloa pertusa* (L) A. Camus. Rev. MVZ Córdoba, 15(3), 2165-2174. <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v15n3/v15n3a04.pdf>
- Phillips, J., Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular micorrhizal fungi for assessment of infection. Trans. Brit. *Micol. Soc*, 5(1), 158-160.
- Puerta, G. (2006). *Buenas prácticas agrícolas para el café*. Avances técnicos 349. CENICAFÉ. Gerencia técnica, programa de investigación científica. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0349.pdf>
- Quilambo, O. (2003). The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African Journal Biotechnology*, 2(12), 539-546.
- Quiñones, E., Hernández, E., Rincón, G., Ferrera, R. (2012). Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. *Terra Latinoamericana*, 30, 165-176.
- Raich, J. (1983). Effects of forest conversion of the carbon budget of a tropical soil. *Biotropica*, 15(3), 177-184.
- Ramírez, B. y Goyes, R. (2004). *Botánica generalidades, morfología y anatomía de las plantas superiores*. Popayán, Colombia: Editorial Universidad del Cauca. https://www.researchgate.net/publication/305566736_Botanica_Generalidades_Morfologia_y_Anatomia_de_plantas_superiores
- Rivera, R., Fernández, F., Hernández, A. (2003). *El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible, estudio de caso*. El Caribe, Ciudad de La Habana. 160 p.
- Rivera, R., Fernandez, F., Sánchez, C., Bustamante, C. (1997). Efecto de la inoculación con HMA y bacterias rizosfericas sobre el crecimiento del cafeto. *Cultivos Tropicales*, 18(3), 15-23.

- Silva, S. (2014). *Biología de las plantas I*. Argentina: Editorial I.S.F.D. Escuela Normal Superior de Maestros. <https://red.infed.edu.ar/blog/wpcontent/uploads/2014/11/SilvaLibro-digital-Bot%C3%A1nicapdf-1.pdf>
- Sánchez, C., Montilla, E., Rivera, R. (2005). Comportamiento de 15 cepas de hongo micorrizogenos sobre el desarrollo de postura de cafeto en un suelo pardo gleyzoso. *Revista Forestal Latinoamericana*, 38, 83-95.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2021). *Pronóstico del Tiempo*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cusco&p=pronostico-detalle>
- Serralde, A., Ramirez, M. (2004). Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica*, 5(1), 31-40.
- Sieverding, E. (1986). El papel de las micorrizas en la agricultura. *Suelos Ecuatoriales*, 16(1), 52-59.
- Sieverding, E. (1991). *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Eschborn, Germany: GTZ, 371.
- Silveira, A. (1992). *Micorrizas*. In: CARDOSO, E.J.B.N.; SAITO, S.M.; NEVES, M.C.P. (Ed.) *Microbiologia do Solo*. Campinas: SBCS. 257-282 p.
- Siqueira, J., Sousa, C., Santos, J., Schneider, J., Carneiro, M. (2007). Micorrizas e degradação do solo. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 5, 219-305.
- Supo, J. (2020). *Metodología de la investigación científica* (3ra ed.). Bioestadístico EEDU EIRL.
- Terry, A., Leyva, G. (2006). Evaluación de agrobiológica de la coinoculación micorrizas-Rizobacterias en tomate. *Agronomía Costarricense*, 30(1), 65-73.
- Tolentino, Y. (2023). *Efecto del humus y fosfato diamonico en las propiedades químicas del suelo y crecimiento de plantones de café (coffea arabica l.) en vivero*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2460>
- Torres, R., Nájera, J., Hernández, E. (2005). *El potencial de México para la producción de servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico*. Instituto Nacional de Ecología. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/63/cap3.html>
- Velázquez, A. (2023). *Micorrizas Arbusculares*. - Capítulo 1. <https://www.youtube.com/watch?v=P2-Ys-kjlf>

- Velásquez, R. (2019). *Guía de variedades de café Guatemala*. ANACAFÉ Asociación Nacional de Café. 2da edición, 48 p.
<https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- Vierheilig, H. (2004). Regulatory mechanisms during the plant - arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian Journal of Botany*, 82, 1166-1176.
- Zavala, S. (2024). *Calidad de plántones de Pinus tecunumanii (pino rojo) empleando abonos orgánicos y micorrizas en San Isidro, Huánuco, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS.
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/2682>

ANEXO

Tabla 38. Operacionalización de las variables en estudio.

VARIABLES INDEPENDIENTES (X)	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
Micorrizas (X ₁)	Peso	kg	Numérica continua
VARIABLE DEPENDIENTE (Y)	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
Calidad de los plantones (Y)	Altura total	cm	Numérica continua
	DAC	cm	Numérica continua
	Biomasa parte aérea	gr/plantón	Numérica continua
	Biomasa radicular	gr/plantón	Numérica continua
	Porcentaje de colonización micorrízica	%	Numérica discreta
	Porcentaje de la eficiencia micorrízica	%	Numérica discreta

Tabla 39. Números aleatorios obtenidos en Microsoft Excel

6	7	12	14	9	12	12	15
1	3	1	2	5	14	10	15
3	3	2	15	7	10	1	15
9	11	9	11	8	7	12	8
10	6	11	5	9	5	13	6
2	12	8	5	13	3	12	2
10	14	3	12	15	14	5	14
4	6	9	4	6	13	15	4

Tabla 40. Distribución de las unidades experimentales.

T ₆	T ₆	T ₇	T ₇	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₄	T ₁₄	T ₉	T ₉	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₁	T ₁
T ₆	T ₆	T ₇	T ₇	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₄	T ₁₄	T ₉	T ₉	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₁	T ₁
T ₆	T ₆	T ₇	T ₇	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₄	T ₁₄	T ₉	T ₉	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₁	T ₁
T ₆	T ₆	T ₇	T ₇	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₄	T ₁₄	T ₉	T ₉	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₁	T ₁
T ₆	T ₆	T ₇	T ₇	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₄	T ₁₄	T ₉	T ₉	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₁	T ₁

T ₃	T ₃	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₅	T ₅	T ₁₄	T ₁₄	T ₁₀	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₅	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃
T ₃	T ₃	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₅	T ₅	T ₁₄	T ₁₄	T ₁₀	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₅	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃
T ₃	T ₃	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₅	T ₅	T ₁₄	T ₁₄	T ₁₀	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₅	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃
T ₃	T ₃	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₅	T ₅	T ₁₄	T ₁₄	T ₁₀	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₅	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃
T ₃	T ₃	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₅	T ₅	T ₁₄	T ₁₄	T ₁₀	T ₁₀	T ₁₅	T ₁₅	T ₃	T ₃	T ₃	T ₃
T ₂	T ₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₇	T ₇	T ₁₀	T ₁₀	T ₁	T ₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁
T ₂	T ₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₇	T ₇	T ₁₀	T ₁₀	T ₁	T ₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁
T ₂	T ₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₇	T ₇	T ₁₀	T ₁₀	T ₁	T ₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁
T ₂	T ₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₇	T ₇	T ₁₀	T ₁₀	T ₁	T ₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁
T ₂	T ₂	T ₁₅	T ₁₅	T ₇	T ₇	T ₁₀	T ₁₀	T ₁	T ₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁	T ₉	T ₉	T ₁₁	T ₁₁
T ₈	T ₈	T ₇	T ₇	T ₈	T ₈	T ₁₀	T ₁₀	T ₆	T ₆	T ₁₁	T ₁₁	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₁₃	T ₁₃
T ₈	T ₈	T ₇	T ₇	T ₈	T ₈	T ₁₀	T ₁₀	T ₆	T ₆	T ₁₁	T ₁₁	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₁₃	T ₁₃
T ₈	T ₈	T ₇	T ₇	T ₈	T ₈	T ₁₀	T ₁₀	T ₆	T ₆	T ₁₁	T ₁₁	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₁₃	T ₁₃
T ₈	T ₈	T ₇	T ₇	T ₈	T ₈	T ₁₀	T ₁₀	T ₆	T ₆	T ₁₁	T ₁₁	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₁₃	T ₁₃
T ₈	T ₈	T ₇	T ₇	T ₈	T ₈	T ₁₀	T ₁₀	T ₆	T ₆	T ₁₁	T ₁₁	T ₅	T ₅	T ₅	T ₅	T ₁₃	T ₁₃
T ₆	T ₆	T ₂	T ₂	T ₈	T ₈	T ₁₃	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₁₃	T ₁₃	T ₄	T ₄
T ₆	T ₆	T ₂	T ₂	T ₈	T ₈	T ₁₃	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₁₃	T ₁₃	T ₄	T ₄
T ₆	T ₆	T ₂	T ₂	T ₈	T ₈	T ₁₃	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₁₃	T ₁₃	T ₄	T ₄
T ₆	T ₆	T ₂	T ₂	T ₈	T ₈	T ₁₃	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₁₃	T ₁₃	T ₄	T ₄
T ₆	T ₆	T ₂	T ₂	T ₈	T ₈	T ₁₃	T ₁₃	T ₁₄	T ₁₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₄	T ₁₃	T ₁₃	T ₄	T ₄

Tabla 41. Datos promedios de la primera evaluación de plantones de café en vivero.

Tratamiento	Variedades	Micorriza (kg)	Altura de la planta (cm)	Diámetro (cm)
1	Geisha roja	0,00	5,27	0,11
1	Geisha roja	0,00	5,45	0,11
1	Geisha roja	0,00	6,35	0,12
2	Geisha roja	0,02	5,59	0,11

2	Geisha roja	0,02	5,55	0,12
2	Geisha roja	0,02	5,53	0,12
3	Geisha roja	0,04	4,73	0,12
3	Geisha roja	0,04	6,48	0,12
3	Geisha roja	0,04	6,68	0,12
4	Geisha roja	0,06	5,72	0,12
4	Geisha roja	0,06	4,69	0,12
4	Geisha roja	0,06	4,81	0,12
5	Geisha roja	0,08	6,61	0,12
5	Geisha roja	0,08	5,64	0,12
5	Geisha roja	0,08	5,78	0,12
6	Geisha amarilla	0,00	5,31	0,11
6	Geisha amarilla	0,00	4,38	0,12
6	Geisha amarilla	0,00	4,28	0,12
7	Geisha amarilla	0,02	6,42	0,11
7	Geisha amarilla	0,02	5,21	0,11
7	Geisha amarilla	0,02	5,26	0,11
8	Geisha amarilla	0,04	4,60	0,11
8	Geisha amarilla	0,04	5,40	0,11
8	Geisha amarilla	0,04	4,55	0,12
9	Geisha amarilla	0,06	5,30	0,12
9	Geisha amarilla	0,06	4,30	0,11
9	Geisha amarilla	0,06	5,15	0,11
10	Geisha amarilla	0,08	6,24	0,11
10	Geisha amarilla	0,08	4,32	0,12
10	Geisha amarilla	0,08	5,38	0,12
11	Buorbon amarillo	0,00	5,36	0,11
11	Buorbon amarillo	0,00	5,12	0,11
11	Buorbon amarillo	0,00	4,29	0,11
12	Buorbon amarillo	0,02	5,19	0,11
12	Buorbon amarillo	0,02	4,21	0,11
12	Buorbon amarillo	0,02	4,99	0,11
13	Buorbon amarillo	0,04	5,24	0,11

13	Buorbon amarillo	0,04	5,18	0,11
13	Buorbon amarillo	0,04	5,25	0,11
14	Buorbon amarillo	0,06	6,48	0,11
14	Buorbon amarillo	0,06	6,33	0,11
14	Buorbon amarillo	0,06	6,47	0,11
15	Buorbon amarillo	0,08	5,31	0,11
15	Buorbon amarillo	0,08	5,37	0,11
15	Buorbon amarillo	0,08	4,51	0,11

Tabla 42. Datos promedios de la segunda evaluación de plantones de café en vivero.

Tratamiento	Variedades	Micorriza (kg)	Altura de la planta (cm)	Diámetro (cm)
1	Geisha roja	0,00	6,53	0,14
1	Geisha roja	0,00	6,58	0,14
1	Geisha roja	0,00	7,47	0,14
2	Geisha roja	0,02	7,53	0,14
2	Geisha roja	0,02	6,57	0,15
2	Geisha roja	0,02	7,63	0,14
3	Geisha roja	0,04	6,42	0,15
3	Geisha roja	0,04	8,54	0,15
3	Geisha roja	0,04	9,59	0,15
4	Geisha roja	0,06	8,57	0,16
4	Geisha roja	0,06	7,53	0,16
4	Geisha roja	0,06	8,55	0,17
5	Geisha roja	0,08	10,46	0,18
5	Geisha roja	0,08	9,39	0,18
5	Geisha roja	0,08	9,31	0,18
6	Geisha amarilla	0,00	6,61	0,15
6	Geisha amarilla	0,00	5,53	0,15
6	Geisha amarilla	0,00	5,61	0,15
7	Geisha amarilla	0,02	8,62	0,15
7	Geisha amarilla	0,02	6,58	0,14
7	Geisha amarilla	0,02	6,69	0,15
8	Geisha amarilla	0,04	6,53	0,16

8	Geisha amarilla	0,04	7,56	0,16
8	Geisha amarilla	0,04	6,38	0,16
9	Geisha amarilla	0,06	7,67	0,17
9	Geisha amarilla	0,06	6,56	0,16
9	Geisha amarilla	0,06	6,60	0,16
10	Geisha amarilla	0,08	9,69	0,18
10	Geisha amarilla	0,08	7,53	0,18
10	Geisha amarilla	0,08	8,60	0,18
11	Buorbon amarillo	0,00	7,48	0,14
11	Buorbon amarillo	0,00	6,65	0,14
11	Buorbon amarillo	0,00	6,47	0,14
12	Buorbon amarillo	0,02	6,53	0,15
12	Buorbon amarillo	0,02	5,64	0,14
12	Buorbon amarillo	0,02	6,72	0,14
13	Buorbon amarillo	0,04	7,53	0,15
13	Buorbon amarillo	0,04	7,52	0,15
13	Buorbon amarillo	0,04	7,38	0,15
14	Buorbon amarillo	0,06	8,45	0,15
14	Buorbon amarillo	0,06	7,60	0,16
14	Buorbon amarillo	0,06	9,63	0,16
15	Buorbon amarillo	0,08	8,38	0,17
15	Buorbon amarillo	0,08	7,50	0,17
15	Buorbon amarillo	0,08	7,69	0,18

Tabla 43. Datos promedios de la tercera evaluación de plantones de café en vivero.

Tratamiento	Variedades	Micorriza (kg)	Altura de la planta (cm)	Diámetro (cm)
1	Geisha roja	0,00	17,64	0,23
1	Geisha roja	0,00	18,66	0,24
1	Geisha roja	0,00	18,48	0,24
2	Geisha roja	0,02	19,44	0,26
2	Geisha roja	0,02	17,57	0,24
2	Geisha roja	0,02	20,31	0,26
3	Geisha roja	0,04	20,61	0,26

3	Geisha roja	0,04	20,60	0,27
3	Geisha roja	0,04	20,48	0,27
4	Geisha roja	0,06	24,85	0,36
4	Geisha roja	0,06	23,35	0,36
4	Geisha roja	0,06	23,56	0,36
5	Geisha roja	0,08	30,53	0,46
5	Geisha roja	0,08	30,39	0,45
5	Geisha roja	0,08	29,61	0,46
6	Geisha amarilla	0,00	15,38	0,26
6	Geisha amarilla	0,00	17,43	0,26
6	Geisha amarilla	0,00	16,37	0,25
7	Geisha amarilla	0,02	18,48	0,27
7	Geisha amarilla	0,02	18,58	0,26
7	Geisha amarilla	0,02	18,58	0,27
8	Geisha amarilla	0,04	21,49	0,27
8	Geisha amarilla	0,04	21,58	0,27
8	Geisha amarilla	0,04	21,69	0,27
9	Geisha amarilla	0,06	23,44	0,37
9	Geisha amarilla	0,06	23,47	0,37
9	Geisha amarilla	0,06	23,23	0,37
10	Geisha amarilla	0,08	27,37	0,47
10	Geisha amarilla	0,08	26,61	0,47
10	Geisha amarilla	0,08	27,61	0,47
11	Buorbon amarillo	0,00	18,34	0,27
11	Buorbon amarillo	0,00	18,54	0,27
11	Buorbon amarillo	0,00	18,44	0,24
12	Buorbon amarillo	0,02	17,68	0,27
12	Buorbon amarillo	0,02	16,58	0,26
12	Buorbon amarillo	0,02	16,42	0,27
13	Buorbon amarillo	0,04	21,47	0,27
13	Buorbon amarillo	0,04	20,47	0,27
13	Buorbon amarillo	0,04	20,64	0,27
14	Buorbon amarillo	0,06	22,32	0,37
14	Buorbon amarillo	0,06	23,47	0,38
14	Buorbon amarillo	0,06	24,44	0,39

15	Buorbon amarillo	0,08	29,38	0,46
15	Buorbon amarillo	0,08	26,63	0,46
15	Buorbon amarillo	0,08	26,76	0,48

Tabla 44. Descriptivo de altura en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	5,69	0,58	3	10,17
	0,02	5,56	0,03	3	0,55
	0,04	5,96	1,07	3	17,99
	0,06	5,07	0,56	3	11,10
	0,08	6,01	0,52	3	8,72
	Total	5,66	0,65	15	11,44
Geisha amarilla	0,00	4,66	0,57	3	12,26
	0,02	5,63	0,68	3	12,11
	0,04	4,85	0,48	3	9,84
	0,06	4,91	0,54	3	10,95
	0,08	5,32	0,96	3	18,10
	Total	5,07	0,67	15	13,25
Buorbon amarillo	0,00	4,92	0,56	3	11,47
	0,02	4,80	0,52	3	10,77
	0,04	5,22	0,04	3	0,74
	0,06	6,43	0,09	3	1,33
	0,08	5,06	0,48	3	9,43
	Total	5,29	0,70	15	13,23
Total	0,00	5,09	0,68	9	13,34
	0,02	5,33	0,59	9	11,00
	0,04	5,34	0,77	9	14,34
	0,06	5,47	0,82	9	14,99
	0,08	5,46	0,73	9	13,42
	Total	5,34	0,70	45	13,14

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 45. ANVA para altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	2,636	2	1,318	3,850	0,032*
Micorriza	0,858	4	0,214	0,627	0,647 ^{ns}
Variedad * Micorriza	7,909	8	0,989	2,888	0,164 ^{ns}
Error	10,270	30	0,342		
Total	21,673	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 46. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre la altura total después del repique.

Variedades de café	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Geisha amarilla	15	5,07	b
Buorbon amarillo	15	5,29	ab
Geisha roja	15	5,66	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 47. Descriptivo de altura en variedades de café y uso de HMA con dos meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	6,86	0,53	3	7,72
	0,02	7,24	0,58	3	8,07
	0,04	8,18	1,61	3	19,74
	0,06	8,22	0,59	3	7,20
	0,08	9,72	0,64	3	6,60
	Total		8,04	1,27	15
Geisha amarilla	0,00	5,92	0,60	3	10,21
	0,02	7,30	1,15	3	15,77
	0,04	6,83	0,64	3	9,41
	0,06	6,94	0,63	3	9,08
	0,08	8,61	1,08	3	12,53
	Total		7,12	1,16	15

Buorbon amarillo	0,00	6,87	0,53	3	7,78
	0,02	6,30	0,57	3	9,13
	0,04	7,47	0,09	3	1,15
	0,06	8,56	1,02	3	11,89
	0,08	7,86	0,46	3	5,91
	Total	7,41	0,96	15	12,97
Total	0,00	6,55	0,68	9	10,32
	0,02	6,94	0,86	9	12,34
	0,04	7,49	1,05	9	14,00
	0,06	7,91	1,00	9	12,60
	0,08	8,73	1,05	9	12,04
	Total	7,52	1,18	45	15,66

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 48. ANVA para altura de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	6,717	2	3,359	5,288	0,011*
Micorriza	25,941	4	6,485	10,210	0,000**
Variedad * Micorriza	9,340	8	1,167	1,838	0,109 ^{ns}
Error experimental	19,056	30	0,635		
Total	61,053	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 49. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre la altura total con dos meses de edad.

Variedades de café	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Geisha amarilla	15	7,12	b
Buorbon amarillo	15	7,41	ab
Geisha roja	15	8,04	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 50. Prueba Tukey del efecto principal de la dosis de micorrizas sobre la altura total con dos meses de edad.

Micorriza (kg/planta)	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
0,00	9	6,55	c
0,02	9	6,94	bc
0,04	9	7,49	bc
0,06	9	7,91	ab
0,08	9	8,73	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 51. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	0,11	0,002	3	1,35
	0,02	0,12	0,002	3	1,49
	0,04	0,12	0,001	3	0,84
	0,06	0,12	0,002	3	1,26
	0,08	0,12	0,001	3	0,49
	Total		0,12	0,003	15
Geisha amarilla	0,00	0,12	0,004	3	3,04
	0,02	0,11	0,000	3	0,00
	0,04	0,11	0,003	3	3,07
	0,06	0,11	0,002	3	1,34
	0,08	0,12	0,003	3	2,61
	Total		0,11	0,002	15
Buorbon amarillo	0,00	0,11	0,000	3	0,00
	0,02	0,11	0,000	3	0,00
	0,04	0,11	0,002	3	1,90
	0,06	0,11	0,001	3	0,93
	0,08	0,11	0,002	3	1,62
	Total		0,11	0,002	15

	0,00	0,11	0,005	9	4,27
	0,02	0,11	0,004	9	3,72
	0,04	0,11	0,005	9	4,14
	0,06	0,11	0,006	9	5,17
	0,08	0,11	0,005	9	4,43
Total	Total	0,11	0,005	45	4,26

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 52. ANVA para el diámetro del tallo de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	0,001	2	0,000	109,478	0,000*
Micorriza	0,00004147	4	0,00001037	2,934	0,537 ^{ns}
Variedad * Micorriza	0,000	8	0,00001260	3,566	0,512 ^{ns}
Error	0,000	30	0,000003533		
Total corregido	0,001	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 53. Prueba Tukey del efecto principal por las variedades de café sobre el diámetro del tallo después del repique.

Variedad	Unidad experimental	Media (cm)	Significancia
Buorbon amarillo	15	0,11	c
Geisha amarilla	15	0,11	b
Geisha roja	15	0,12	a

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 54. Descriptivo de diámetro del tallo en tres variedades de café y uso de micorrizas con dos meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	0,14	0,00	3	2,10
	0,02	0,14	0,00	3	0,40
	0,04	0,15	0,00	3	0,40
	0,06	0,16	0,01	3	5,18
	0,08	0,18	0,00	3	0,86
	Total		0,15	0,02	15

Geisha amarilla	0,00	0,15	0,00	3	1,78
	0,02	0,15	0,00	3	2,39
	0,04	0,16	0,00	3	1,32
	0,06	0,16	0,00	3	2,76
	0,08	0,18	0,00	3	1,72
	Total	0,16	0,01	15	7,74
Buorbon amarillo	0,00	0,14	0,00	3	0,73
	0,02	0,14	0,00	3	1,76
	0,04	0,15	0,00	3	1,78
	0,06	0,16	0,00	3	1,92
	0,08	0,18	0,00	3	2,06
	Total	0,15	0,01	15	9,02
Total	0,00	0,14	0,01	9	4,38
	0,02	0,14	0,00	9	1,58
	0,04	0,15	0,01	9	3,64
	0,06	0,16	0,01	9	3,99
	0,08	0,18	0,00	9	1,58
	Total	0,15	0,01	45	8,97

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 55. ANVA para el diámetro del tallo de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	0,000	2	0,000	14,487	0,000**
Micorriza	0,008	4	0,002	162,734	0,000**
Variedad * Micorriza	0,000	8	0,00003762	3,262	0,009**
Error	0,000	30	0,00001153		
Total	0,008	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 56. ANVA resumido de los efectos simples para el diámetro de tallo de café con dos meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	0,003	4,000	0,001	48,442	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	0,002	4,000	0,001	47,258	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	0,003	4,000	0,001	88,151	0,000**
0,00 kg en variedad	0,000	2,000	0,000	25,061	0,001*
0,02 kg en variedad	0,000	2,000	0,000	0,339	0,725 ^{ns}
0,04 kg en variedad	0,000	2,000	0,000	27,857	0,001*
0,06 kg en variedad	0,000	2,000	0,000	1,898	0,230 ^{ns}
0,08 kg en variedad	0,000	2,000	0,000	0,770	0,504 ^{ns}

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 57. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre el diámetro del tallo con dos meses de edad.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	0,14 ^{c/b}	0,14 ^{c/a}	0,15 ^{c/b}	0,16 ^{b/a}	0,18 ^{a/a}
Geisha amarilla	0,15 ^{cd/a}	0,15 ^{d/a}	0,16 ^{bc/a}	0,16 ^{b/a}	0,18 ^{a/a}
Buorbon amarillo	0,14 ^{d/b}	0,14 ^{cd/a}	0,15 ^{bc/b}	0,16 ^{b/a}	0,18 ^{a/a}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 58. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas después del repique.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	5,05	0,44	3	8,81
	0,02	4,82	0,09	3	1,91
	0,04	5,03	0,92	3	18,22
	0,06	4,20	0,54	3	12,74
	0,08	5,14	0,43	3	8,35
	Total		4,85	0,58	15

Geisha amarilla	0,00	4,05	0,61	3	14,98
	0,02	4,95	0,60	3	12,20
	0,04	4,31	0,52	3	11,95
	0,06	4,35	0,49	3	11,33
	0,08	4,65	0,96	3	20,58
	Total	4,46	0,64	15	14,35
Buorbon amarillo	0,00	4,69	0,53	3	11,24
	0,02	4,51	0,49	3	10,94
	0,04	4,80	0,11	3	2,23
	0,06	5,98	0,12	3	2,03
	0,08	4,76	0,49	3	10,23
	Total	4,95	0,64	15	12,92
Total	0,00	4,60	0,64	9	13,82
	0,02	4,76	0,44	9	9,21
	0,04	4,72	0,62	9	13,09
	0,06	4,85	0,93	9	19,23
	0,08	4,85	0,62	9	12,78
	Total	4,75	0,64	45	13,54

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 59. ANVA para robustez de los plantones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas después del repique.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	1,972	2	0,986	3,316	0,050 ^{ns}
Micorriza	0,389	4	0,097	0,327	0,858 ^{ns}
Variedad * Micorriza	6,940	8	0,867	2,917	0,516 ^{ns}
Error	8,922	30	0,297		
Total corregido	18,223	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 60. Descriptivo de robustez en tres variedades de café y uso de micorrizas con dos meses de edad.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (cm)	DE	N	CV (%)
Geisha roja	0,00	5,01	0,44	3	8,82
	0,02	5,03	0,42	3	8,33
	0,04	5,62	1,14	3	20,20
	0,06	5,04	0,21	3	4,13
	0,08	5,51	0,40	3	7,34
	Total	5,24	0,59	15	11,16
Geisha amarilla	0,00	3,99	0,40	3	10,07
	0,02	5,03	0,73	3	14,55
	0,04	4,36	0,48	3	10,95
	0,06	4,26	0,31	3	7,22
	0,08	4,86	0,65	3	13,38
	Total	4,50	0,61	15	13,45
Buorbon amarillo	0,00	5,03	0,35	3	7,04
	0,02	4,41	0,41	3	9,40
	0,04	5,03	0,06	3	1,29
	0,06	5,52	0,61	3	11,07
	0,08	4,52	0,35	3	7,67
	Total	4,90	0,54	15	10,92
Total	0,00	4,68	0,62	9	13,28
	0,02	4,82	0,56	9	11,70
	0,04	5,00	0,82	9	16,48
	0,06	4,94	0,66	9	13,30
	0,08	4,96	0,61	9	12,21
	Total	4,88	0,64	45	13,14

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 61. ANVA para robustez de los plántones de café por efecto de las variedades y uso de micorrizas con dos meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P-valor
Variedad	4,159	2	2,079	7,602	0,002*
Micorriza	0,627	4	0,157	0,573	0,684 ^{ns}
Variedad * Micorriza	5,101	8	0,638	2,331	0,044*
Error	8,206	30	0,274		
Total corregido	18,094	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 62. ANVA resumido de los efectos simples para la robustez con dos meses de edad.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	1,062	4,000	0,265	0,711	0,603 ^{ns}
Geisha amarilla en micorriza	2,242	4,000	0,561	1,944	0,180 ^{ns}
Buorbon amarillo en micorriza	2,424	4,000	0,606	3,810	0,039*
0,00 kg en variedad	2,124	2,000	1,062	6,607	0,030*
0,02 kg en variedad	0,780	2,000	0,390	1,326	0,334 ^{ns}
0,04 kg en variedad	2,398	2,000	1,199	2,366	0,175 ^{ns}
0,06 kg en variedad	2,430	2,000	1,215	7,124	0,026*
0,08 kg en variedad	1,528	2,000	0,764	3,247	0,111 ^{ns}

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 63. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la robustez con dos meses de edad.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	5,01 ^{a/b}	5,03 ^{a/a}	5,62 ^{ab/a}	5,04 ^{a/ab}	5,51 ^{ab/a}
Geisha amarilla	3,99 ^{a/a}	5,03 ^{a/a}	4,36 ^{a/a}	4,26 ^{a/a}	4,86 ^{a/a}
Buorbon amarillo	5,03 ^{ab/b}	4,41 ^{a/a}	5,03 ^{a/a}	5,52 ^{b/b}	4,52 ^{a/a}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 64. Datos recogidos de la biomasa aérea de las plantas de café en vivero.

Tratamiento	Variedades	Micorriza (kg)	Biomasa aérea de peso húmedo (g)	Biomasa aérea de peso seco (g)
1	Geisha roja	0,00	5,00	2,20
1	Geisha roja	0,00	5,10	2,10
1	Geisha roja	0,00	5,00	2,10
2	Geisha roja	0,02	5,10	2,14
2	Geisha roja	0,02	5,20	2,16
2	Geisha roja	0,02	5,00	2,15
3	Geisha roja	0,04	5,30	2,18
3	Geisha roja	0,04	5,50	2,23

3	Geisha roja	0,04	5,40	2,21
4	Geisha roja	0,06	6,47	2,64
4	Geisha roja	0,06	6,49	2,65
4	Geisha roja	0,06	6,48	2,65
5	Geisha roja	0,08	8,10	3,32
5	Geisha roja	0,08	7,54	3,12
5	Geisha roja	0,08	8,72	3,58
6	Geisha amarilla	0,00	6,15	2,49
6	Geisha amarilla	0,00	6,15	2,49
6	Geisha amarilla	0,00	6,15	2,40
7	Geisha amarilla	0,02	6,17	2,50
7	Geisha amarilla	0,02	6,18	2,51
7	Geisha amarilla	0,02	6,19	2,52
8	Geisha amarilla	0,04	6,20	2,53
8	Geisha amarilla	0,04	6,21	2,41
8	Geisha amarilla	0,04	6,21	2,54
9	Geisha amarilla	0,06	6,22	2,55
9	Geisha amarilla	0,06	6,21	2,54
9	Geisha amarilla	0,06	6,20	2,53
10	Geisha amarilla	0,08	7,28	3,00
10	Geisha amarilla	0,08	7,29	3,00
10	Geisha amarilla	0,08	7,30	3,10
11	Buorbon amarillo	0,00	6,13	2,49
11	Buorbon amarillo	0,00	6,12	2,48
11	Buorbon amarillo	0,00	6,13	2,50
12	Buorbon amarillo	0,02	6,16	2,52
12	Buorbon amarillo	0,02	6,15	2,52
12	Buorbon amarillo	0,02	6,14	2,51
13	Buorbon amarillo	0,04	6,20	2,54
13	Buorbon amarillo	0,04	6,18	2,54
13	Buorbon amarillo	0,04	6,19	2,54
14	Buorbon amarillo	0,06	6,21	2,56
14	Buorbon amarillo	0,06	6,23	2,57

14	Buorbon amarillo	0,06	6,22	2,56
15	Buorbon amarillo	0,08	7,03	3,20
15	Buorbon amarillo	0,08	7,02	3,10
15	Buorbon amarillo	0,08	7,01	3,00

Tabla 65. Descriptivo de la biomasa aérea en peso húmedo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (g)	DE	N	CV
Geisha roja	0,00	5,03	0,06	3	1,15
	0,02	5,10	0,10	3	1,96
	0,04	5,40	0,10	3	1,85
	0,06	6,48	0,01	3	0,15
	0,08	8,12	0,59	3	7,27
	Total		6,03	1,23	15
Geisha amarilla	0,00	6,15	0,00	3	0,00
	0,02	6,18	0,01	3	0,16
	0,04	6,21	0,01	3	0,09
	0,06	6,21	0,01	3	0,16
	0,08	7,29	0,01	3	0,14
	Total		6,41	0,46	15
Buorbon amarillo	0,00	6,13	0,01	3	0,09
	0,02	6,15	0,01	3	0,16
	0,04	6,19	0,01	3	0,16
	0,06	6,22	0,01	3	0,16
	0,08	7,02	0,01	3	0,14
	Total		6,34	0,35	15
Total	0,00	5,77	0,55	9	9,59
	0,02	5,81	0,54	9	9,21
	0,04	5,93	0,40	9	6,78
	0,06	6,30	0,13	9	2,11
	0,08	7,48	0,58	9	7,73
	Total		6,26	0,79	45

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 66. ANVA para la biomasa aérea en peso húmedo por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	P-valor
Variedad	1,241	2	0,621	24,988	0,000**
Micorriza	18,290	4	4,572	184,074	0,000**
Variedad * Micorriza	6,859	8	0,857	34,515	0,000**
Error	0,745	30	0,025		
Total	27,135	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 67. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa aérea en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	20,477	4,000	5,119	68,838	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	2,929	4,000	0,732	10982,350	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	1,743	4,000	0,436	5027,038	0,000**
0,00 kg en variedad	2,443	2,000	1,221	1088,406	0,000**
0,02 kg en variedad	2,270	2,000	1,135	333,794	0,000**
0,04 kg en variedad	1,275	2,000	0,638	188,747	0,000**
0,06 kg en variedad	0,141	2,000	0,070	703,000	0,000**
0,08 kg en variedad	1,972	2,000	0,986	8,485	0,018*

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 68. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa aérea en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	5,03 ^{c/b}	5,10 ^{c/b}	5,40 ^{c/b}	6,48 ^{b/a}	8,12 ^{a/a}
Geisha amarilla	6,15 ^{d/a}	6,18 ^{c/a}	6,21 ^{b/a}	6,21 ^{b/b}	7,29 ^{a/ab}
Buorbon amarillo	6,13 ^{d/a}	6,15 ^{d/a}	6,19 ^{c/a}	6,22 ^{b/b}	7,02 ^{a/b}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Tabla 69. Datos recogidos de la biomasa radical de las plantas de café en vivero.

Tratamiento	Variedades	Micorriza (kg)	Biomasa radical de peso húmedo (g)	Biomasa radical de peso seco (g)
1	Geisha roja	0,00	3,20	1,20
1	Geisha roja	0,00	3,10	1,10
1	Geisha roja	0,00	3,00	1,00
2	Geisha roja	0,02	3,00	1,10
2	Geisha roja	0,02	3,00	1,10
2	Geisha roja	0,02	3,00	1,50
3	Geisha roja	0,04	3,10	1,11
3	Geisha roja	0,04	3,30	1,15
3	Geisha roja	0,04	3,20	1,13
4	Geisha roja	0,06	3,83	1,35
4	Geisha roja	0,06	3,85	1,37
4	Geisha roja	0,06	3,84	1,36
5	Geisha roja	0,08	4,80	1,70
5	Geisha roja	0,08	4,50	1,58
5	Geisha roja	0,08	5,10	1,80
6	Geisha amarilla	0,00	3,61	1,25
6	Geisha amarilla	0,00	3,62	1,26
6	Geisha amarilla	0,00	3,61	1,25
7	Geisha amarilla	0,02	3,64	1,29
7	Geisha amarilla	0,02	3,65	1,29
7	Geisha amarilla	0,02	3,66	1,29
8	Geisha amarilla	0,04	3,67	1,30
8	Geisha amarilla	0,04	3,67	1,31
8	Geisha amarilla	0,04	3,68	1,30
9	Geisha amarilla	0,06	3,69	1,31
9	Geisha amarilla	0,06	3,68	1,30
9	Geisha amarilla	0,06	3,67	1,30
10	Geisha amarilla	0,08	4,31	1,54
10	Geisha amarilla	0,08	4,32	1,54
10	Geisha amarilla	0,08	4,33	1,55

11	Buorbon amarillo	0,00	3,61	1,28
11	Buorbon amarillo	0,00	3,60	1,27
11	Buorbon amarillo	0,00	3,62	1,28
12	Buorbon amarillo	0,02	3,64	1,29
12	Buorbon amarillo	0,02	3,64	1,29
12	Buorbon amarillo	0,02	3,63	1,28
13	Buorbon amarillo	0,04	3,67	1,31
13	Buorbon amarillo	0,04	3,66	1,30
13	Buorbon amarillo	0,04	3,66	1,31
14	Buorbon amarillo	0,06	3,68	1,31
14	Buorbon amarillo	0,06	3,70	1,32
14	Buorbon amarillo	0,06	3,69	1,31
15	Buorbon amarillo	0,08	4,26	1,52
15	Buorbon amarillo	0,08	4,25	1,51
15	Buorbon amarillo	0,08	4,24	1,50

Tabla 70. Descriptivo de la biomasa radicular en peso húmedo en tres variedades de café y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Variedad	Micorriza (kg)	Media (g)	DE	N	CV
Geisha roja	0,00	3,10	0,10	3	3,23
	0,02	3,00	0,00	3	0,00
	0,04	3,20	0,10	3	3,13
	0,06	3,84	0,01	3	0,26
	0,08	4,80	0,30	3	6,25
	Total		3,59	0,71	15
Geisha amarilla	0,00	3,61	0,01	3	0,16
	0,02	3,65	0,01	3	0,27
	0,04	3,67	0,01	3	0,16
	0,06	3,68	0,01	3	0,27
	0,08	4,32	0,01	3	0,23
	Total		3,79	0,28	15

	0,00	3,61	0,01	3	0,28
	0,02	3,64	0,01	3	0,16
Buorbon amarillo	0,04	3,66	0,01	3	0,16
	0,06	3,69	0,01	3	0,27
	0,08	4,25	0,01	3	0,24
	Total	3,77	0,25	15	6,63
	0,00	3,44	0,26	9	7,58
	0,02	3,43	0,32	9	9,38
Total	0,04	3,51	0,24	9	6,82
	0,06	3,74	0,08	9	2,09
	0,08	4,46	0,30	9	6,72
	Total	3,72	0,46	45	12,40

DE: Desviación estándar, N: Número de combinaciones/tratamientos, CV: Coeficiente de variación.

Tabla 71. ANVA para la biomasa radicular en peso húmedo por efecto de las variedades y uso de micorrizas en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	P-valor
Variedad	0,366	2	0,183	24,753	0,000**
Micorriza	6,737	4	1,684	227,937	0,000**
Variedad * Micorriza	2,011	8	0,251	34,015	0,000**
Error	0,222	30	0,007		
Total	9,335	44			

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 72. ANVA resumido de los efectos simples para la biomasa radicular en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Geisha roja en micorriza	6,801	4,000	1,700	77,210	0,000**
Geisha amarilla en micorriza	1,072	4,000	0,268	3655,091	0,000**
Buorbon amarillo en micorriza	0,875	4,000	0,219	2981,818	0,000**
0,00 kg en variedad	0,524	2,000	0,262	77,510	0,000**
0,02 kg en variedad	0,828	2,000	0,414	9315,250	0,000**

0,04 kg en variedad	0,439	2,000	0,219	65,387	0,000**
0,06 kg en variedad	0,048	2,000	0,024	241,000	0,000**
0,08 kg en variedad	0,538	2,000	0,269	8,943	0,016**

*: existe diferencia estadística significativas, ns: no existe diferencias estadísticas, con p-valor <0,05.

Tabla 73. Prueba Tukey para efectos simples de las variedades de café y la dosis de micorrizas sobre la biomasa radicular en peso húmedo en un periodo de cuatro meses.

Variedades	Dosis de micorriza				
	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
Geisha roja	3,10 ^{c/b}	3,00 ^{c/b}	3,20 ^{c/b}	3,84 ^{b/a}	4,80 ^{a/a}
Geisha amarilla	3,61 ^{d/a}	3,65 ^{c/a}	3,67 ^{b/a}	3,68 ^{b/b}	4,32 ^{a/b}
Buorbon amarillo	3,61 ^{e/a}	3,64 ^{d/a}	3,66 ^{c/a}	3,69 ^{b/b}	4,25 ^{a/b}

Letras diferentes ratifican las existencias de significancia estadística.

Anexo 2. Panel fotográfico**Figura 10.** Selección de semillas.**Figura 11.** Sembrando al voleo en cama germinador.



Figura 12. Preparación del sustrato (zarandeo de tierra negra mas materia orgánica de pulpa de café).



Figura 13. Preparación de dosis de micorriza para cada unidad de experimental.



Figura 14. Instalación experimental (llenado de sustrato a las bolsas, preparación manual con una estaca para introducir las plántulas a la bolsa agrícola, introducción de micorriza, introducción de plántulas a la bolsa y finalmente su riego adecuado).



Figura 15. Medición de variables de estudio (altura total de planta y diámetro del tallo)



Figura 16. Muestra de las tres unidades de biomasa radicular de la planta.



Figura 17. Muestra de la biomasa radicular de planta.