

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**“INOCULACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES
NATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE
CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex
Schumann), JAÉN – PERÚ”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

Bach. BLANCA KATHERINE OROZCO SANTACRUZ

ASEORES

Dra. BMblga. MARCELA NANCY ARTEAGA CUBA

ING. M. Cs. LEIWER FLORES FLORES

JAÉN - PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

Blanca Katherine Orozco Santacruz

DNI: 76322875

Escuela Profesional/Unidad UNC:

Ingeniería Forestal

2. Asesores:

Blga. Mcblga. Dra. Marcela Nancy Arteaga Cuba

Ing. M. Cs. Leiwer Flores Flores

Facultad/Unidad UNC:

Ingeniería Forestal

3. Grado académico o título profesional

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. Tipo de Investigación:

Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:

INOCULACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES
DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann), JAÉN – PERÚ

6. Fecha de evaluación: 05/02/2026

7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)

8. Porcentaje de Informe de Similitud: 11 %

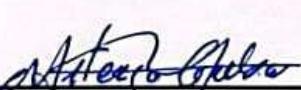
9. Código Documento: oid: 3117:553322405

10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 05/02/2026

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*


Blga. Mcblga. Dra. Marcela Nancy Arteaga Cuba
DNI: 27671665


Ing. M. Cs. Leiwer Flores Flores
DNI: 01117005



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Jaén, a los treinta días del mes de **diciembre** del año dos mil veinticinco, se reunieron en el **Ambiente de la Sala de Docentes de Ingeniería Forestal- Filial Jaén**, los miembros del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad Nº587-2025-FCA-UNC, de fecha 15 de octubre del 2025, con el objeto, de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**INOCULACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann) JAÉN - PERÚ**", ejecutado por la Bachiller en Ciencias Forestales, **Doña BLANCA KATHERINE OROZCO SANTACRUZ**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las **once** horas y **cero** minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, la Bachiller queda expedido para el inicio de los trámites, para que se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Forestal.

A las **doce** horas y **treinta** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Jaén, 30 de diciembre del 2025.

Dr. Segundo Primitivo Vaca Marquina
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Francisco Fernando Aguirre De Los Ríos
SECRETARIO

Ing. M. Sc. Vitoly Becerra Montalvo
VOCAL

Blga. McIlg. Dr. Marcela Nancy Arteaga Cuba
ASESORA

Ing. M. Cs. Leiwier Flores Flores
ASESOR

DEDICATORIA

Dedico esta investigación, desde lo más profundo de mi corazón, a mis queridos padres, Isabel y Roosembelt, quienes, aunque ya no estén físicamente a mi lado, sé que me cuidan día a día como mis ángeles protectores. Su amor trasciende el tiempo y el espacio, y su memoria vive en cada logro alcanzado.

A mis hermanos, por su apoyo constante y su cariño incondicional.

A mis tíos Rosa, Jhony y Elías, así como a Judith, mi mejor amiga que permanece en mi memoria con profundo cariño; a Karim, quien ha sido un pilar fundamental en este proceso.

A todos ustedes, con todo mi amor y gratitud. Este logro es tan suyo como mío.

Blanca

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía, por darme la fortaleza y la sabiduría necesaria para enfrentar cada desafío en este camino. Sin su amor y su presencia en mi vida, este logro no habría sido posible.

A mis padres, por su amor incondicional, por su apoyo constante y por cada sacrificio que hicieron para verme crecer. Aunque ya no estén conmigo, su legado y enseñanzas siguen presentes en cada paso que doy. Este logro es un homenaje a su fe en mí y a todo lo que me brindaron.

A mis docentes, por su dedicación, paciencia y compromiso en mi formación académica. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en mi vida, guiándome con sabiduría y enseñándome no solo conocimientos, sino también valores fundamentales para mi futuro.

A mis amigos, por estar allí en los momentos difíciles y celebrar conmigo los logros. Gracias por ser un apoyo constante, por sus palabras de aliento y por ayudarme a mantenerme enfocada en mis metas.

Blanca

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1 Antecedentes de la investigación.....	16
2.2 Bases teóricas	20
2.2.1. Las micorrizas arbusculares (MA)	20
2.2.2. Formación de micorrizas arbusculares	21
2.2.3. Clases de micorrizas	21
2.2.4. Formas de micorrizar.....	22
2.2.5. Efecto positivo de las micorrizas arbusculares en el crecimiento y desarrollo de las plantas	22
2.2.6. Características de la capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>).....	23
2.2.7. Taxonomía de la especie <i>Calycophyllum spruceanum</i>	24
2.2.8. Distribución de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	25

2.2.9. Hábitat de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	25
2.2.10. Fruto y semilla de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	26
2.2.11. Labores silviculturales y germinación <i>Calycophyllum spruceanum</i>	27
2.2.12. Usos <i>Calycophyllum spruceanum</i>	28
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1 Ubicación	29
3.1.1 Ubicación del área de muestreo	29
3.1.2 Accesibilidad	29
3.2 Materiales	31
3.2.1 Material biológico	31
3.2.2 Material de campo.....	31
3.2.3 Material y equipo de laboratorio.....	31
3.3 Metodología	31
3.3.1 Tipo y diseño de investigación	31
3.3.2 Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio	32
3.3.3 Croquis del experimento	34
3.3.4 Procedimiento.....	34
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1 Selección semillas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	42
4.1.1. Obtención de semillas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	42
4.2 Verificación y aislamiento esporas de micorrizas arbusculares nativas de suelos forestales del bosque de Huamantanga.....	43
4.1.2. Aislamiento de esporas de micorrizas arbusculares nativas a partir de suelos forestales locales	43

4.3 Determinación de la forma de inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las semillas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	45
4.1.1. Inoculación de plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> con micorrizas arbusculares nativas mediante el método de inmersión	45
4.4 Determinar la presencia de las micorrizas arbusculares nativas en las raíces de <i>Calycophyllum spruceanum</i> después de la inoculación	46
4.4.1 Inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	46
4.5 Determinación del crecimiento y desarrollo de las plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero	47
4.5.1 Crecimiento de las plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero	47
4.5.2 Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas, después de 90 días de evaluación	65
4.5.3 Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en las raíces de <i>Calycophyllum spruceanum</i> en el día 90	74
4.5.4 Evaluación del desarrollo de las plantas de capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>).....	78
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1 Conclusiones	84
5.2 Recomendaciones	85
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
CAPÍTULO VII: ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de la Varianza para el DBA	33
Tabla 2. Cantidad de semillas, porcentaje de germinación y plántulas de estudio empleadas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	42
Tabla 3. Número de esporas de 1 gr de muestra extraída de la rizosfera de <i>Retrophyllum rospigliosii</i>	44
Tabla 4. ANOVA de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días	47
Tabla 5. Tukey ^{a,b} (HSD)de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días	49
Tabla 6. ANOVA del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días	51
Tabla 7. Tukey ^{a,b} (HSD) del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días	53
Tabla 8. ANOVA del número de hojas de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo 90 días	56
Tabla 9.largo 90 días.....	58
Tabla 10. Supervivencia de plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i> con los diferentes tratamientos de 0 - 90 días	61
Tabla 11. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas del testigo	65
Tabla 12. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 1.....	66
Tabla 13. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 2.....	68
Tabla 14. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 3.....	70
Tabla 15. Comparativo de campos colonizados de estructuras micorrícicas por tratamiento .	72
Figura 16. Identificación de género de micorrizas en el sustrato donde se tubo a los plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	75
Tabla 17. Desarrollo de plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i> a lo largo de 90 días.....	78
Tabla 18. Evaluación radicular del plantón de <i>Calycophyllum spruceanum</i> a los 90 días.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la investigación.....	30
Figura 2. Croquis de las unidades experimentales.....	34
Figura 3. Semillas de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	42
Figura 4. Obtención de las esporas de micorrizas arbusculares nativas	44
Figura 5. Inoculación de plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> con micorrizas arbusculares nativas mediante el método de inmersión	45
Figura 6. Inoculación de esporas de micorrizas arbusculares nativas, observación pre – repique (día – 0)	46
Figura 7. Comparativo de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días.....	50
Figura 8. Comparativo del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días.....	55
Figura 9. Comparativo del número de hojas de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo 90 días	60
Figura 10. Supervivencia de plántulas de <i>Calycophyllum spruceanum</i> con los diferentes tratamientos de 0 - 90 días.....	64
Figura 11. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 1	67
Figura 12. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 2	69
Figura 13. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 3	71
Figura 14. Comparativo de ampos colonizados de estructuras micorrícicas por tratamiento	73
Figura 15. Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en las raíces de <i>Calycophyllum spruceanum</i> en el día 90.....	74
Figura 16. Identificación de género de micorrizas en el sustrato donde se tubo a los plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	75
Figura 17. Comparativa de crecimiento y desarrollo de los plantones de las muestras (T0, T1, T2, T3)	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables.....	93
Anexo 2. Matriz de consistencia.....	94
Anexo 3. Boleta de compra de 100 g de semilla capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	95
Anexo 4. Ficha técnica de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	96
Anexo 5. Ficha comercial de <i>Calycophyllum spruceanum</i>	97
Anexo 6. Validación de expertos	98
Anexo 7. Formato validado por expertos para evaluar el desarrollo de los plantones	100
Anexo 8. Evaluación radicular del plantón de <i>Calycophyllum spruceanum</i> a los 90 días	101
Anexo 9. Formato validado por expertos para la obtención de resultados de laboratorio....	102
Anexo 10. Formato validado por expertos para la obtención de resultados de campo.....	104
Anexo 11. Resultados resumen del ANOVA y TUKEY	105
Anexo 12. Panel fotográfico	115

RESUMEN

La capirona (*Calycophyllum spruceanum*) es una especie forestal nativa de la Amazonía, reconocida por su rápido crecimiento y adaptabilidad, lo que la convierte en una opción estratégica para programas de reforestación y recuperación de áreas degradadas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares nativas en el crecimiento y desarrollo de plantones de capirona en condiciones de vivero. Se utilizó cuatro tratamientos cada uno con 40 plantones; el grupo control sin inoculación y tres grupos inoculados con diferentes concentraciones de suelo micorrizas (de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*) (3 g, 6 g y 10 g). Los parámetros evaluados fueron; altura, diámetro del tallo y biomasa aérea durante 90 días. Como resultados tuvimos que las plántulas inoculadas con 10 g de suelo micorrizas en 200 g de sustrato presentaron las mejores características de crecimiento, alcanzando una altura promedio de 11,37 cm, un diámetro de tallo de 1,9 mm y un promedio de 9 hojas por plántula. Los otros tratamientos incluso el testigo mostraron valores menores. Concluyendo La inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejoró significativamente el crecimiento y desarrollo integral de las plántulas, reflejado en mayores valores de altura, diámetro, número de hojas, supervivencia y desarrollo radicular, destacando las dosis de 6 g y 10 g como las más efectivas para la producción de plantones de calidad en vivero.

Palabras clave: Micorrizas arbusculares, capirona, plántulas, crecimiento, resistencia.

ABSTRACT

Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) is a native forest species of the Amazon, recognized for its rapid growth and adaptability, making it a strategic option for reforestation programs and the recovery of degraded areas. The objective of this research was to evaluate the effect of inoculation with native arbuscular mycorrhizae on the growth and development of capirona seedlings under nursery conditions. Four treatments were used, each with 40 seedlings; the control group without inoculation and three groups inoculated with different concentrations of mycorrhizal soil (of the genera *Glomus* and *Acaulospora*) (3 g, 6 g and 10 g). The parameters evaluated were: height, stem diameter and aerial biomass for 90 days. As results, we had that seedling inoculated with 10 g of mycorrhizal soil in 200 g the substrate treatments presented the best growth characteristics, reaching an average height of 11,37 cm, a stem diameter of 1,9 mm, and an average of 9 leaves per seedling. In conclusion, inoculation with native arbuscular mycorrhizae significantly improved the growth and overall development of seedlings, reflected in higher values of height, diameter, number of leaves, survival and root development, highlighting the doses of 6 g and 10 g as the most effective for the production of quality seedlings in the nursery.

Keywords: Arbuscular mycorrhizae, capirona, seedlings, growth, resistance.

CAPÍTULO I

INTRODUCIÓN

La producción de plantones de especies forestales nativas, son necesarios para la reforestación y restauración de ecosistemas degradados, especialmente en áreas tropicales como la región amazónica de Perú. Sin embargo, el establecimiento exitoso de estas especies en terrenos deforestados o con una reducida calidad de suelo, presenta grandes desafíos, debido a la escasez de nutrientes esenciales y la competencia con especies invasoras. La capirona (*Calycophyllum spruceanum*) se destaca como una especie clave en los esfuerzos de reforestación debido a su resistencia y adaptabilidad, además de sus propiedades ecológicas valiosas como reguladora de la biodiversidad y restauradora de suelos (Pérez et al., 2021).

Desde el punto de vista social, el uso de la capirona también mostró beneficios importantes. Torres (2023) analizó el impacto ambiental, económico y cultural de esta especie en cuatro comunidades de la Amazonía baja de Loreto, evidenciando que su aprovechamiento generó oportunidades para el desarrollo local sostenible. Además de su valor maderable, los pobladores destacaron su uso tradicional y su integración en sistemas agroforestales como fuente de ingresos. Torres (2023)

Uno de los factores que limita el crecimiento óptimo de los plantones de capirona es la nutrición no adecuada, particularmente el fósforo, un nutriente esencial que suele ser limitado en suelos degradados. Para mitigar este problema, se exploraron diversas estrategias, siendo la inoculación con micorrizas arbusculares nativas (HMA) una de las técnicas más adecuadas. Las micorrizas son hongos que establecen una relación simbiótica con las raíces de las plantas, mejorando su capacidad para absorber nutrientes del suelo, facilitando la absorción de fósforo y otros minerales esenciales, lo que resulta en un aumento significativo de la salud y el crecimiento de las plántulas (García et al., 2021).

Diversos estudios demuestran los beneficios de la inoculación de micorrizas arbusculares en especies forestales tropicales, como el aumento en la tasa de supervivencia de las plántulas y la mejora en su capacidad para adaptarse a suelos de baja fertilidad (Jiménez et al., 2020). Las micorrizas arbusculares (HMA) son hongos del filo Glomeromycota que forman una relación mutualista con las raíces de la mayoría de las plantas vasculares, facilitando la absorción de nutrientes como fósforo, nitrógeno y micronutrientes esenciales para el desarrollo vegetal (Brundrett, 2023). Además, mejoran la estructura del suelo, incrementan la resistencia de las plantas al estrés biótico y abiótico, y contribuyen a la regeneración de ecosistemas degradados.

La implementación de inoculantes micorrízicos en viveros forestales debe ser una herramienta prometedora para mejorar la calidad de los plantones destinados a reforestación y restauración ecológica. El uso de cepas nativas de micorrizas adaptadas a las condiciones locales es una ventaja frente al uso de cepas comerciales, ya que las primeras poseían mayor compatibilidad ecológica y funcionalidad en su entorno natural (Brundrett, 2023).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares nativas en el crecimiento y desarrollo de plantones de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth)) en condiciones de vivero en la provincia de Jaén, Perú. Plantando los siguientes objetivos específicos: seleccionar las esporas de micorrizas arbusculares nativas de suelos forestales; determinar la forma de inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las semillas de (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann); determinar la presencia de las micorrizas arbusculares nativas en las raíces de (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann) después de la inoculación; determinar el crecimiento y desarrollo de las plántulas de (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann) inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Falcón et al. (2021) realizaron su investigación en “Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular”, donde sus resultados muestran que la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares tiene un efecto positivo en el crecimiento y calidad de la planta de *S. mahagoni* en condiciones de vivero. Con la inoculación de las cepas *Glomus cubense* y *Rhizoglomus intraradices* se evidencia mayor crecimiento, esto provoca un efecto sinérgico cuando el sustrato fue inoculado con las distintas cepas micorrízicas, fundamentalmente en los tratamientos donde se utiliza el sustrato S2 (M1/S2, M2/S2 y M3/S2). Esto permitió que las plántulas de caoba antillana crecieran en promedio 7,7 cm más en comparación con los tratamientos donde no se aplicó micorriza, concluyendo que La interacción del sustrato S2 conformado por 60 % de fibra de coco + 20 % de cascarilla de cacao + 20 % de aserrín de pino y las cepas micorrízicas *Glomus cubense*, *Rhizoglomus intraradices* y *Funneliformis mosseae*, son las más beneficiosas para la estimulación del crecimiento de la planta *S. mahagoni* cultivada vivero. Las cepas micorrízicas *G. cubense* y *R. intraradices*, ambas inoculadas en el sustrato S2, favorecieron la calidad de la planta *S. mahagoni*. La inoculación de sustratos orgánicos con Hongos Micorrízicos Arbusculares como biofertilizantes, demuestran ser alternativas viables para utilizar en la producción de plantas forestales de *S. mahagoni*.

Melgarejo (2020) evaluó el efecto de cuatro tipos de micorrización en la producción de plantones de pino (*Pinus radiata* D.) en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Ancash en fase de vivero; observó que, el *Pinus radiata* con tierra micorrizada fue el mejor resultado en cuanto a efectos de micorrización en la evaluación de las variables de altura, diámetro de tallo, número de hojas, nivel de micorrización y tamaño de la raíz, llegando a

determinar diferencias y valores significativos entre los tratamientos utilizados, con respecto al testigo.

Silva et al. (2022) evaluó la inoculación con dos especies de HMA (*Rhizophagus clarus* y *Acaulospora colombiana*) en plántulas de *Ilex paraguariensis* cultivadas en condiciones de vivero con diferentes niveles de fósforo. Los resultados mostraron que la inoculación aumentó significativamente la biomasa aérea y subterránea, la longitud total de las raíces y la colonización micorrízica, especialmente a niveles bajos de fósforo. Estos hallazgos sugieren que la inoculación con HMA puede mejorar la producción de plántulas de yerba mate en viveros, reduciendo el tiempo necesario en el vivero y mejorando el rendimiento de los árboles.

Wu et al. (2024) realizaron un meta-análisis que recopiló datos de 187 investigaciones originales para evaluar los efectos de la inoculación con HMA en el crecimiento de las plantas y la nutrición de nitrógeno (N) y fósforo (P). Los resultados mostraron aumentos promedio del 47 % en la biomasa de las plantas, 16 % en la concentración de N, 27 % en la concentración de P, 67 % en la absorción de N y 105 % en la absorción de P. La inoculación con HMA indujo mayores aumentos en la concentración y almacenamiento de P que en N, y las respuestas de las plantas fueron sustancialmente mayores con una sola especie de HMA que con especies mixtas, en experimentos de laboratorio que, en experimentos de campo, y en leguminosas que en no leguminosas.

Un estudio realizado por Kadu et al. (2023) investigó el efecto de la inoculación con HMA nativos e introducidos en el crecimiento y contenido fitoquímico de plántulas de *Prunus africana* propagadas vegetativamente. Los resultados mostraron que la inoculación con HMA aumentó significativamente la superficie foliar y el número de hojas en comparación con el tratamiento control, aunque el peso de la parte aérea y el peso total no mostraron diferencias significativas. Además, las plántulas inoculadas con HMA nativos presentaron una mayor

concentración de taninos, flavonoides y fenoles totales en comparación con las inoculadas con HMA introducidos.

Fernández et al. (2024) evaluó la inoculación con HMA en suelos degradados para promover el crecimiento de plántulas de *Polylepis australis*, una especie clave para la restauración en las Sierras Grandes de Argentina. Los resultados mostraron que la inoculación con HMA aumentó significativamente la biomasa aérea de las plántulas, especialmente cuando se utilizó inóculo proveniente de suelos forestales degradados. Estos hallazgos sugieren que la inoculación con HMA puede ser una herramienta efectiva para la restauración de ecosistemas en suelos degradados.

Sánchez et al. (2023) evaluó el efecto de la inoculación con HMA autóctonas y la aplicación de abonos orgánicos (gallinaza y humus de lombriz) en el crecimiento de *Cinchona officinalis* en ambientes controlados. Los resultados mostraron que la combinación de micorrizas autóctonas con humus de lombriz promovió un mayor crecimiento vegetativo en comparación con otros tratamientos. Este hallazgo sugiere que la inoculación con HMA nativas puede ser una estrategia efectiva para mejorar la producción de plántulas de especies forestales en viveros.

Ramírez et al. (2022) investigaron sobre la biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero, evaluó la asociación simbiótica mutualista micorriza - planta está basada en el intercambio bidireccional de nutrientes particularmente el fósforo. Las plantas pueden tomar los nutrientes a partir de dos vías: la primera es a través de las células epidérmicas cerca del ápice de la raíz y de los pelos radicales y la otra a través del micelio extrarradical de los HFMA. La captación de P a través de la raíz es rápida y como resultado hay un agotamiento progresivo de este nutriente y es ahí en donde juega un papel muy importante el micelio extraradical de los HFMA en donde éste tiene una alta afinidad por transportadores de fósforo inorgánico (Pi) para ser transferido a la

corteza de la raíz. En ese contexto los resultados obtenidos en la absorción de Pi en este estudio demuestran que los HFMA jugaron un papel muy importante en la translocación de este nutriente a las diferentes especies forestales evaluadas, ya que la absorción de este elemento por parte de los HFMA dependiendo del tipo de inóculo y de la especie forestal, se incrementó en comparación al testigo fertilizado con el 50 % y en algunas ocasiones se obtuvieron valores iguales o mayor al testigo fertilizado al 100 % sin inocular; concluyendo que el uso de HFMA nativos como inoculante para las diferentes especies forestales evaluadas en esta investigación fue muy eficaz cuando estos son combinados con el 50 % de fertilización de síntesis química en donde las asociaciones *Glomus*. sp. + *Gigaspora*. sp. - *Gmelina arborea*, *P. quinata*, *Eucalyptus* sp. y *A. mangium* a nivel de vivero representan un potencial para el productor forestal. El uso de esta tecnología para las especies forestales permitió obtener las condiciones óptimas de altura y diámetro de cuello de la raíz para su trasplante a campo, así como una mayor absorción de nutrientes por parte de las plantas cuando estas se encontraban asociadas a los HFMA mencionados anteriormente

Gutiérrez (2021) investigó el efecto de diferentes tipos y niveles de inóculos de HMA en la producción de plántulas de *Pinus radiata* y *Pinus patula* en el vivero forestal de Huamanga, Ayacucho. El estudio encontró que el uso de suelo micorrizado fue más efectivo que el uso de micorriza comercial en la producción de plántulas de ambas especies. Sin embargo, no se pudo determinar un nivel óptimo de inóculo, ya que las respuestas variaron según la especie y el tipo de inóculo.

El estudio de Arteaga et al. (2020), realizado en el bosque de Huamantanga, Jaén – Perú, tuvo como objetivo caracterizar la colonización por hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en *Retrophyllum rospigliossi*, una conífera nativa de los Andes peruanos. Se trabajó con tres categorías de regeneración natural (brinzal, latizal y fustal), recolectando muestras de raíces y suelos en cinco parcelas georreferenciadas. Las raíces fueron teñidas para identificar

estructuras micorrízicas (hifas, vesículas y arbúsculos), mientras que el suelo fue tamizado para cuantificar esporas. Se halló que la colonización radicular fue alta en todas las categorías (entre 85 % y 96.2 %), con mayor presencia en las etapas más jóvenes (brinzal y latizal). Las hifas representaron entre 39,2 % y 53 %, las esporas entre 30,8 % y 57,6 %, y las vesículas entre 35 % y 51,4 %, mientras que los arbúsculos fueron escasos (0%–2%). Además, se identificaron tres géneros predominantes de HMA: Glomus (74 %), Entrophosphora (15 %) y Acaulospora (11 %). Estos resultados evidencian la importante relación simbiótica entre esta especie forestal y los HMA, especialmente en sus etapas iniciales de crecimiento, lo cual sugiere el potencial uso de inoculación micorrízica como herramienta en programas de restauración ecológica en la región andina del Perú.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Las micorrizas arbusculares (MA)*

Las micorrizas arbusculares (MA) son una forma de simbiosis entre ciertos hongos del suelo (pertenecientes principalmente al filo Glomeromycota) y las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. En esta relación, tanto el hongo como la planta se benefician: el hongo coloniza las raíces y forma estructuras especializadas como arbúsculos y vesículas, mientras que la planta le proporciona al hongo compuestos ricos en carbono (azúcares), y a cambio, el hongo mejora la absorción de nutrientes y agua, especialmente fósforo, nitrógeno, y micronutrientes.

Según De la Providencia et al. (2021), las micorrizas arbusculares juegan un papel clave en la nutrición y el crecimiento vegetal, ya que amplían la zona de exploración de las raíces mediante el micelio del hongo, lo cual incrementa la eficiencia en la adquisición de nutrientes en suelos pobres o degradados. Además, estas asociaciones contribuyen a la tolerancia de las plantas al estrés abiótico (sequía, salinidad) y biótico (patógenos del suelo), y favorecen la

estructura del suelo gracias a la producción de glomalina, una glicoproteína que promueve la agregación del suelo.

2.2.2. *Formación de micorrizas arbusculares*

La formación de micorrizas arbusculares (MA) es un proceso simbiótico entre hongos del suelo y las raíces de las plantas, fundamental para la nutrición vegetal. El estudio realizado por Lozano Sánchez et al. (2023) en bosques y agroecosistemas andinos evidenció que la longitud del micelio y la producción de glomalina, una proteína asociada a las MA, son esenciales para la agregación del suelo, lo que mejora la estructura y la retención de nutrientes. Este proceso es particularmente relevante en regiones andinas, donde las condiciones del suelo pueden limitar el crecimiento vegetal. Los autores concluyen que las MA desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y forestales en estas áreas.

2.2.3. *Clases de micorrizas*

Las micorrizas son asociaciones simbióticas entre hongos y raíces de plantas, que se clasifican en varias clases según su estructura y tipo de interacción. Según Martínez-Castro et al. (2022), las principales clases de micorrizas son:

Micorrizas arbusculares (MA): Son las más comunes y se encuentran en aproximadamente el 80 % de las plantas terrestres. Los hongos forman estructuras llamadas arbúsculos dentro de las células corticales de las raíces, facilitando un intercambio eficiente de nutrientes entre hongo y planta (Lozano et al., 2023).

Micorrizas ectomicorrízicas (EM): Se forman principalmente en árboles forestales como pinos y robles. Los hongos forman una red externa llamada manto alrededor de las raíces y una estructura llamada red de Hartig entre las células corticales, sin penetrarlas (González et al., 2021).

Micorrizas ericoides: Asociadas principalmente a plantas de la familia Ericaceae.

Estas micorrizas forman asociaciones con raíces finas y ayudan a las plantas a sobrevivir en suelos ácidos y pobres en nutrientes (Fernández et al., 2021).

Micorrizas arbutoïdes: Similar a las ectomicorrizas, pero menos comunes, estas micorrizas se encuentran en plantas como Arbutus y forman una capa externa alrededor de la raíz (Ramírez et al., 2022).

Micorrizas monotrópicas: Asociadas con plantas no fotosintéticas que dependen totalmente del hongo para obtener nutrientes (Pérez et al., 2023).

Cada tipo de micorriza cumple funciones ecológicas específicas y tiene aplicaciones en agricultura, silvicultura y restauración ecológica.

2.2.4. *Formas de micorrizar*

Las micorrizas se presentan en las raíces bajo dos maneras:

Al natural ocurre sin intervención humana, cuando las raíces de las plantas son colonizadas de forma espontánea por hongos micorrícicos presentes en el suelo (PRONAMACHS, 1998; citado en Melgarejo, 2017).

La micorrización artificial se realiza mediante el uso de hongos vegetativos, uno de ellos se puede antes del repique mediante inmersión o ya en plantones mediante aspersión, la micorrización artificial, es el que consiste en la selección y aislamiento de hongos micorrízicos y después son propagados como semilla. La micorrización artificial es rápida y selectiva, dando la ventaja de inocular a un hospedero determinado con su hongo micorrítico apropiado (PRONAMACHS, 1998; citado en Melgarejo, 2021).

2.2.5. *Efecto positivo de las micorrizas arbusculares en el crecimiento y desarrollo de las plantas*

Las micorrizas arbusculares (MA) establecen una simbiosis mutualista con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres, mejorando significativamente su crecimiento y desarrollo.

Según Rivera-Cruz et al. (2023), los hongos MA facilitan la absorción de nutrientes esenciales, como fósforo, nitrógeno y micronutrientes, mediante su extensa red de micelio que aumenta la superficie de absorción más allá de la zona radicular directa. Este incremento en la absorción se traduce en una mayor biomasa vegetal, mayor altura, y mejor desarrollo radicular.

Además, Torres y Martínez (2022) indican que las MA aumentan la tolerancia de las plantas a estreses abióticos como sequía, salinidad y temperaturas extremas, al mejorar la capacidad de retención de agua y modificar respuestas fisiológicas. De igual forma, las MA pueden contribuir a la protección contra patógenos del suelo al inducir mecanismos de defensa en la planta.

Un estudio específico realizado por Gómez et al. (2024) en cultivos de cacao mostró que la inoculación con MA incrementó el rendimiento y la calidad de los frutos, resaltando su potencial en sistemas agrícolas sostenibles. Estos beneficios hacen que la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares sea una estrategia clave en la agricultura ecológica y la restauración ambiental.

2.2.6. Características de la capirona (*Calycophyllum spruceanum*)

La capirona es un árbol tropical de la familia Rubiaceae, ampliamente distribuido en la Amazonía peruana y otros países de la cuenca amazónica. Según Quispe et al. (2023), esta especie es conocida por su rápido crecimiento, alta capacidad de regeneración natural y valor comercial debido a su madera resistente y ligera, además de su importante función ecológica en la restauración de bosques tropicales.

Morfológicamente, la capirona puede alcanzar alturas de 30 a 35 metros, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) que varía entre 40 y 80 cm en árboles maduros (Flores-Mendoza et al., 2022). Su corteza es lisa y presenta una tonalidad clara, que en condiciones húmedas se vuelve resbaladiza, característica que ha dado lugar a su nombre común. Las hojas son simples, opuestas y coriáceas, con pecíolos cortos y forma elíptica a ovada. Sus flores,

pequeñas y blancas, aparecen en racimos terminales y son polinizadas principalmente por insectos (Gonzales-Ruiz et al., 2021).

Ecológicamente, la capirona desempeña un papel crucial en la conservación del suelo y la biodiversidad. Es una especie pionera que tolera suelos pobres y condiciones húmedas, facilitando el establecimiento de otras especies forestales. Estudios recientes han resaltado su potencial para ser utilizada en programas de reforestación y recuperación de ecosistemas degradados, debido a su resistencia a plagas y enfermedades (Sánchez-Vargas et al., 2024).

Además, la capirona tiene aplicaciones medicinales tradicionales, ya que algunos extractos de su corteza y hojas son utilizados por comunidades indígenas para tratar afecciones respiratorias y febres (Mendoza et al., 2021).

2.2.7. Taxonomía de la especie *Calycophyllum spruceanum*

Clasificación taxonómica de la especie según Cronquist (1986):

Reino : Plantae

División : Angiospermae

Clase : Dicotiledónea

Subclase : Asteridae

Orden : Gentianales

Familia : Rubiaceae

Género : Calycophyllum

Especie : *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook f. ex Schumann.

Clasificación taxonómica de la especie según APG IV (2016):

Clase : Equisetopsida C. Agardh

Sub clase : Magnoliidae Novák ex Takht.

Súper orden : Asteranae Takht.

Orden : Gentianales Juss. Ex Bercht. & J. Presl

Familia	: Rubiaceae Juss.
Género	: <i>Calycophyllum</i> DC.
Especie	: <i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) Hook f. ex Schumann.

2.2.8. Distribución de *Calycophyllum spruceanum*

La capirona es una especie nativa de la cuenca amazónica, con amplia distribución en países de Sudamérica como Perú, Brasil, Colombia, Ecuador, Bolivia y Venezuela (Quispe et al., 2023). En Perú, se encuentra principalmente en las regiones amazónicas de Loreto, San Martín, Ucayali y Jaén, donde crece en bosques húmedos tropicales de baja y media altitud (Flores-Mendoza et al., 2022).

Esta especie prefiere suelos bien drenados, con humedad constante y climas cálidos, aunque también puede adaptarse a suelos pobres y condiciones variadas dentro del rango amazónico (Sánchez-Vargas et al., 2024). Su presencia es significativa en zonas de reforestación y áreas naturales protegidas debido a su capacidad para regenerarse naturalmente y contribuir a la recuperación forestal.

Además, su distribución altitudinal va desde el nivel del mar hasta aproximadamente 600 metros sobre el nivel del mar, mostrando mayor abundancia en zonas con precipitaciones superiores a 2000 mm anuales (Gonzales-Ruiz et al., 2021).

2.2.9. Hábitat de *Calycophyllum spruceanum*

La capirona es una especie típica de los bosques tropicales húmedos de la Amazonía, donde se desarrolla en ambientes con alta humedad y precipitaciones que superan los 2000 mm anuales (Quispe et al., 2023). Prefiere suelos bien drenados, franco-arenosos o arcillosos, con buen contenido de materia orgánica, aunque es capaz de crecer en suelos moderadamente pobres y ligeramente ácidos, lo que le confiere una notable adaptabilidad ecológica (Flores-Mendoza et al., 2022).

Su hábitat natural incluye principalmente las zonas de bosque húmedo tropical de tierras bajas y piedemontes, generalmente entre 100 y 600 metros sobre el nivel del mar, donde las temperaturas oscilan entre 24 y 28 °C de promedio anual (Sánchez-Vargas et al., 2024). En estos ecosistemas, la capirona suele encontrarse en asociaciones mixtas con otras especies arbóreas como *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, y diferentes especies de la familia Fabaceae.

Además, la capirona juega un papel importante en la sucesión ecológica como especie pionera y secundaria, contribuyendo a la estabilización del suelo y a la recuperación de áreas degradadas (Gonzales-Ruiz et al., 2021). Su presencia favorece la biodiversidad al ofrecer hábitat y alimento a diversas especies de fauna.

2.2.10. Fruto y semilla de *Calycophyllum spruceanum*

La capirona produce frutos del tipo cápsula, que son dehiscente y se abren al madurar para liberar las semillas. Según Martínez et al. (2023), los frutos son pequeños, miden entre 2 y 3 cm de longitud, y contienen generalmente de 2 a 4 semillas por fruto. La cápsula presenta una estructura leñosa que protege las semillas hasta su madurez, facilitando su dispersión principalmente por gravedad y por acción del viento en áreas abiertas.

Las semillas de *Calycophyllum spruceanum* son aladas, lo que favorece su dispersión anemocora (por el viento), aumentando el rango de colonización de la especie en ambientes naturales (Sánchez-Vargas et al., 2024). Tienen una forma ovalada y su tamaño oscila entre 5 y 7 mm, con un tegumento delgado que facilita la rápida germinación bajo condiciones favorables de humedad y temperatura (Gonzales-Ruiz et al., 2021).

En cuanto a su viabilidad, estudios recientes reportan que las semillas mantienen una alta tasa de germinación (entre 80 % y 90 %) cuando se siembran frescas, perdiendo viabilidad rápidamente si se almacenan por períodos prolongados sin condiciones adecuadas de conservación (Flores-Mendoza et al., 2022). Por esta razón, para programas de reforestación, se

recomienda la siembra inmediata tras la cosecha para maximizar la tasa de establecimiento de plántulas.

El proceso de germinación dura aproximadamente entre 10 a 15 días, y la emergencia de las plántulas es rápida, favoreciendo un rápido desarrollo inicial que es crucial para la supervivencia en ambientes competitivos por otras especies forestales (Quispe et al., 2023).

2.2.11. Labores silviculturales y germinación *Calycophyllum spruceanum*

Las labores silviculturales para la capirona se enfocan en maximizar su establecimiento y crecimiento en sistemas de producción forestal y reforestación. Según Pérez et al. (2022), estas labores incluyen la preparación adecuada del terreno, control de malezas, y manejo de la densidad de plantación para asegurar la competencia óptima entre plántulas y la reducción de estrés hídrico y nutricional.

El manejo de plagas y enfermedades también es fundamental, aunque la capirona presenta una resistencia moderada a ataques comunes en bosques amazónicos, por lo que se recomienda monitoreo constante y aplicación de prácticas preventivas (García y Morales, 2023). El raleo y poda son técnicas aplicadas para mejorar la calidad de la madera y facilitar el desarrollo de los árboles remanentes, especialmente en plantaciones densas o secundarias (López et al., 2024).

En cuanto a la germinación, estudios recientes indican que las semillas de capirona presentan una alta tasa de germinación cuando se siembran frescas, oscilando entre 80% y 90%, con un período de emergencia entre 10 y 15 días (Martínez et al., 2023). La germinación se favorece bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura constante, alrededor de 25 °C, y en sustratos bien aireados y drenados (Flores et al., 2022).

Para la producción de plantones en vivero, se recomienda la siembra en almácigos o bolsas con mezcla de tierra fértil, arena y materia orgánica en proporciones equilibradas para garantizar buen drenaje y nutrición (Quispe et al., 2023). Además, la inoculación con

micorrizas arbusculares puede mejorar significativamente la tasa de supervivencia y el desarrollo radicular, fortaleciendo la planta para su posterior traslado al campo (Sánchez-Vargas et al., 2024).

El manejo post-germinativo incluye riegos regulares, control de plagas y enfermedades, y trasplante oportuno para evitar el estrés hídrico que afecta la tasa de establecimiento (Gonzales et al., 2021).

2.2.12. Usos de la *Calycophyllum spruceanum*

La capirona es una especie forestal de gran valor ecológico, económico y cultural en la Amazonía peruana y otros países sudamericanos. Su madera es apreciada por su dureza, resistencia y textura fina, lo que la hace ideal para la fabricación de muebles, pisos, carpintería fina y elementos estructurales en la construcción (Gonzales et al., 2021). Además, es utilizada en la elaboración de artesanías locales, contribuyendo a la economía de comunidades rurales.

Desde el punto de vista ecológico, la capirona es importante en la restauración y conservación de ecosistemas amazónicos, pues facilita la regeneración natural y mejora la biodiversidad en áreas degradadas (Quispe et al., 2023). Sus hojas y corteza tienen propiedades medicinales tradicionales utilizadas por comunidades indígenas para tratar enfermedades respiratorias y afecciones de la piel (Sánchez et al., 2024).

La capirona también es valorada por su capacidad para secuestrar carbono, aportando a la mitigación del cambio climático cuando se incluye en proyectos de manejo forestal sostenible y reforestación (Flores et al., 2022). Por su rápido crecimiento y resistencia a condiciones variables, es una especie clave en programas de recuperación forestal y manejo agroforestal.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación del área de muestreo

El estudio se realizó en el vivero Valle Oro Verde, ubicado en Shumba Bajo, en la carretera Jaén – San Ignacio, con coordenadas geográficas de 5°32'00" N y 78°47'00" E, a una altitud de 729 m.s.n.m, la zona presenta un clima cálido y moderadamente lluvioso, con humedad relativa fluctuante, registrándose valores aproximados de 62 % en horas de la tarde y 58 % en la mañana. La precipitación es variable a lo largo del año, predominando días sin lluvias intensas; no obstante, pueden presentarse chubascos débiles y esporádicos, con una probabilidad de ocurrencia cercana al 40 % en determinados días.

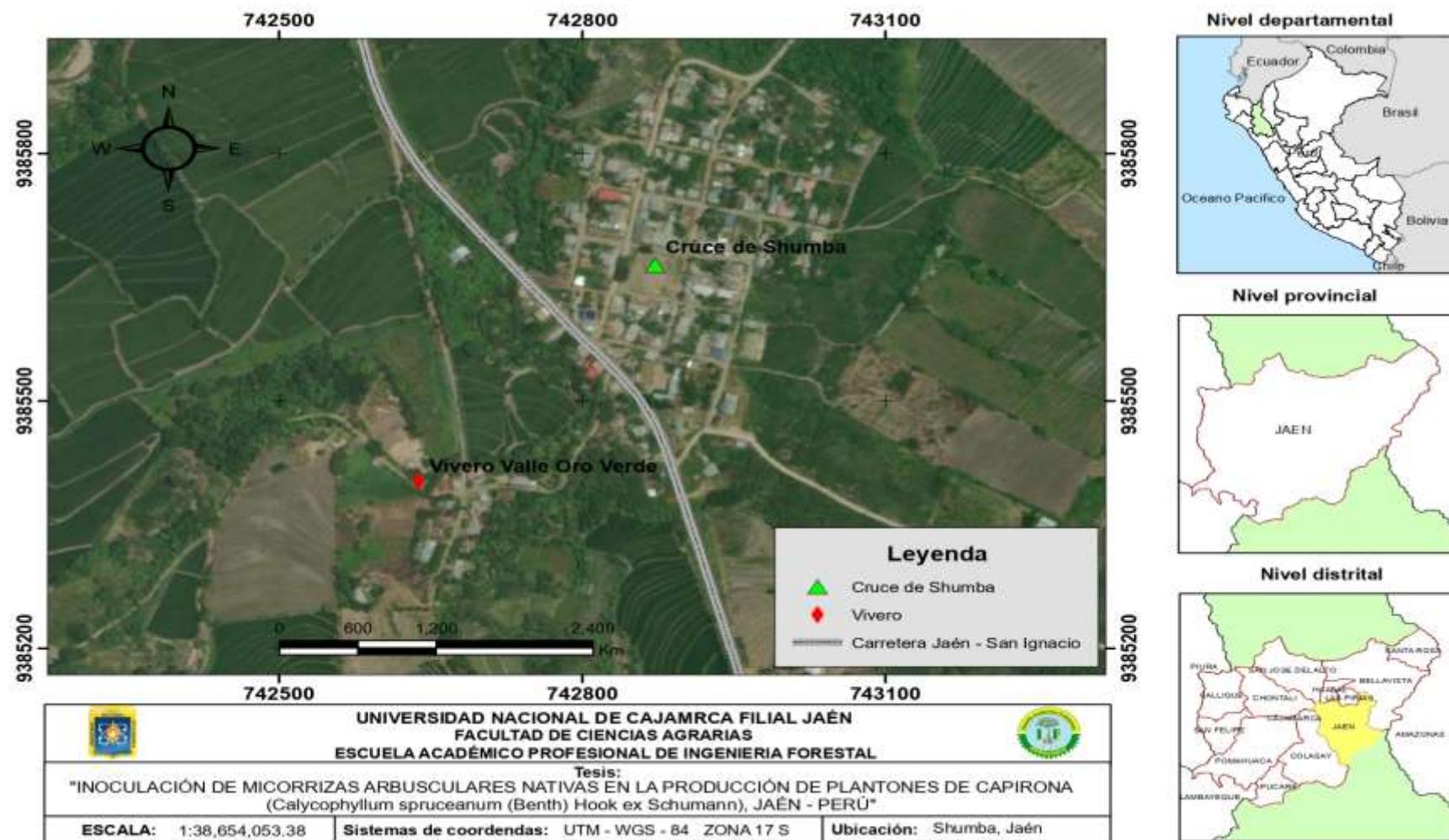
3.1.2 Accesibilidad

El vivero Valle Oro Verde es accesible por vía terrestre desde la ciudad de Jaén, a través de la carretera asfaltada Jaén–San Ignacio hasta el sector de Shumba Bajo. El tramo principal se encuentra en buen estado de transitabilidad, lo que permite el acceso durante todo el año, incluso en condiciones de lluvias moderadas.

Para llegar al lugar de estudio se emplearon vehículos livianos (automóviles y camionetas) y motocicletas, los cuales pueden transitar sin mayores dificultades hasta las inmediaciones del vivero. En épocas de mayor humedad o presencia de chubascos, se recomienda el uso de camionetas, especialmente para garantizar un desplazamiento seguro en los tramos finales de acceso no asfaltados.

Figura 1

Ubicación de la investigación



3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

Semillas de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann); micorrizas arbusculares nativas extraídas de suelos forestales y como sustrato (tierra agrícola, arena).

3.2.2 Material de campo

Carretilla, palana, wincha 5 m (16'), machetes, vernier graduado, tubetes T-180, libreta de notas, malla Rachel, repicadores, regadera, letreros, pintura.

3.2.3 Material y equipo de laboratorio

Probetas, Pipetas, Agua destilada, Frasco Erlenmeyer, Agua Oxigenada, Tamiz, Cajas Petri, láminas porta y cubre objetos, vasos de precipitación, embudos, pipetas, placas Petri, tamices graduados 4000, 500, 250, 125 y 63 µm, coladores, estufa, microscopio con cámara incorporada, balanza graduada, Balanza analítica, impresora, computadora portátil.

3.3. Metodología

3.3.1 Tipo y diseño de investigación

a) Tipo de investigación

La investigación será de tipo aplicada y diseño experimental, con un enfoque cuantitativa, porque se basa en la manipulación de variables replicando un fenómeno concreto y observando el grado en que la o las variables implicadas y manipuladas producen un efecto determinado. Los datos se obtienen de muestras aleatorizadas, de manera que se presupone que la muestra de la cual se obtienen es representativa de la población de la cual fue extraída. Permite establecer diferentes hipótesis y contrastarlas a través de un método científico (Melgarejo, 2017).

Cuantitativa, porque las variables se pueden cuantificar a través del uso de una escala de variable apropiada, permitiendo un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones contrastadas a

partir de hipótesis. Los resultados de estas investigaciones se basan en la estadística inferencial, lo cual permite que se pueden extrapolar a toda la población de referencia (Melgarejo, 2017).

Cualitativa, lo que permite evaluar mediante la observación, el desarrollo de las plántulas de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann), inoculadas con micorrizas nativas del bosque de Huamantanga.

b) Diseño de la investigación

En la investigación se aplicará el diseño experimental, ya que es un estudio en donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que tiene esta manipulación sobre una o más variables dependientes, dentro de una situación de control creada por el investigador (Gómez, 2021). Se utilizará el Diseño Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA), con 4 tratamientos, distribuidos en 4 bloques, con 20 unidades experimentales; se utilizarán 5 plantones por cada unidad experimental, haciendo un total de 160 plantones.

3.3.2 Factores, variables, niveles y tratamientos en estudio

a) Factores en estudio:

Efecto de la inoculación Micorrizas arbusculares nativas

Plantones de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) hook ex Schumann)

b) Variables de estudio:

Variable independiente. Micorrizas arbusculares nativas.

Variable dependiente. Plantones de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Bentxh) Hook ex Schumann).

c) Niveles

El nivel de investigación que se aplicará en la presente investigación será, empleando un diseño experimental verdadero, donde se aplicarán tratamientos y la medición de los efectos de los tratamientos.

d) Tratamientos en estudio

Evaluar el efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plantones de capirona

(*Calycophyllum spruceanum*), en fase de vivero,

(T0): 85% de tierra agrícola + 15% de arena

(T1): 85% de tierra agrícola + 15% de arena y 3 g de suelo con esporas de micorrizas arbusculares nativas.

(T2): 85% de tierra agrícola + 15% de arena y 6 g de suelo con esporas de micorrizas arbusculares nativas.

(T3): 85% de tierra agrícola + 15% de arena y 10 g de suelo con esporas de micorrizas arbusculares nativas.

e) Diseño experimental

El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente al Azar. Cuando se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Tabla 1

Análisis de la Varianza para el DBA

Fuentes de Variación	GL	Suma Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	Sig
Tratamientos	t-r	SC de Trats = $\left[\frac{\sum_{i=1}^{t-r} X_i^2}{r} \right] - \left[\frac{\sum_{j=1}^r X_{ij}^2}{rt} \right]$	CM de Trats $= (SC \text{ de Trats}) / (t - 1)$	$\frac{CM \text{ de Trats}}{CM \text{ del Error}}$	$p \geq 0,05$
Error	t(r-1)	SC del Error $= \sum_i \left(\sum_j X_{ij}^2 - \frac{\sum_i X_i^2}{r} \right)$	CM del Error $= (SC \text{ del Error}) / t(r - 1)$		0,01 $\leq p < 0,05$ $p < 0,01$ $p < 0,001$

$$\text{SC Total} =$$

$$\text{Total tr-1} \quad \sum_{i,j} X_{ij^2} - \frac{x^2}{rt}$$

Fuente: (Montgomery, 2017)

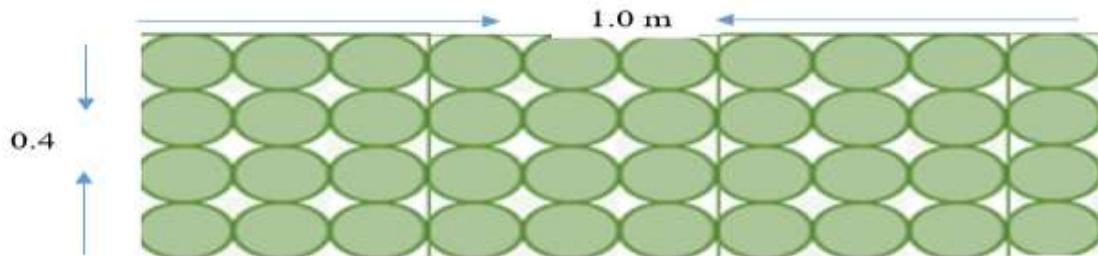
3.3.3 Croquis del experimento

Distribución de los tratamientos en el campo experimental

Nº de tratamientos	Repeticiones
T0	1
T1	1
T2	1
T3	1

Figura 2

Croquis de las unidades experimentales



En el croquis presenta una muestra de una cama de 40 plantones de capirona (*Calycophyllum spruceanum*), de esta muestra se harán 3 camas totalmente iguales para llevar a cabo los 3 tratamientos del experimento (T0; T1; T2; T3). Y un testigo.

3.3.4 Procedimiento

a) Trabajo Pre – vivero

- ✓ Seleccionar semillas de *Calycophyllum spruceanum*

Se obtuvieron 100 g de semillas de *Calycophyllum spruceanum*, destinadas a la propagación de plántulas para el desarrollo del presente estudio. La selección y adquisición de

las semillas se realizó considerando criterios estrictos de calidad, con una viabilidad de germinación mínima del 60 %. Las semillas fueron adquiridas de la empresa “COMERCIALIZADORA DE SEMILLAS FORESTALES GMULA” E.I.R.L., ubicada en Tingo María, dedicada a la distribución de semillas forestales y reconocida por ofrecer productos con adecuado estado de viabilidad y pureza genética.

Una vez obtenidos los 100 g de semillas, se procedió al conteo correspondiente, separándose una muestra de 5 g para el proceso de germinación. Este procedimiento constituyó una etapa fundamental para garantizar la obtención de plántulas vigorosas, condición necesaria para asegurar el éxito del proceso de inoculación con micorrizas arbusculares y la posterior producción de plantones de capirona de alta calidad.

b) Trabajo de vivero

Para la obtención de plantones, las semillas se sometieron a una propagación sexual.

✓ Preparación del sustrato para el almacenamiento de las semillas

El sustrato para el almácigo se preparó en arena fina de río, en una cama almaciguera de 2 m de largo por 1.5 m de ancho.

✓ Almacenamiento de las semillas

Se procedió a sembrar las semillas en la cama de almácigo, sobre ella se colocó un plástico negro para proteger y fomentar la germinación creando un microclima estable. Luego se procedió a poner un tinglado a 0,2 m del suelo (malla de protección). El riego se realizó cada dos o tres días con regadera de gota fina hasta que se inicie la germinación de las plántulas.

✓ Preparación del sustrato para llenado de tubetes

La preparación del sustrato se realizó con una mezcla de tierra agrícola y arena, en proporción 3:1. Luego, se procedió a la desinfección del sustrato aplicando un producto cúprico (RIZOLEX), a razón de 3 cucharadas por una bomba de mochila de 18 litros.

El sustrato, previamente preparado y desinfectado, fue cubierto con plástico durante 24 horas. Luego, se sometió a tratamiento térmico en estufa a 200 °C durante 4 horas, con el propósito de eliminar posibles esporas micorrícicas. La efectividad de este procedimiento se verificó en laboratorio mediante observación microscópica, tras lo cual se procedió al llenado de los tubetes.

✓ **Llenado de tubetes**

Se realizó el llenado de los tubetes de 110–180 cm³ de capacidad para la cría de los plantones.

✓ **Labores culturales en el vivero:**

Se realizaron las labores culturales como: riego, limpieza de pasillo y deshierbo.

✓ **Trabajo de campo**

Se acudió al sitio donde se encontraba la planta de romerillo rojo (*Retrophyllum rospigliosii*), de la cual se obtuvo una muestra de suelo localizada en la zona de sus raíces. Para ello, se excavó un hoyo de 20 cm de ancho por 20 cm de largo y 30 cm de profundidad.

c) **Trabajo de laboratorio**

✓ **Obtención de la micorriza vesículo arbuscular**

Para aislar las esporas de micorrizas arbusculares, se utilizó el método de flotación en azúcar, lo que permitió separar las esporas presentes en las muestras de suelo. Este proceso fue crucial para identificar y verificar las esporas de micorrizas arbusculares nativas, las cuales fueron seleccionadas para su uso en la inoculación de los plantones de *Calycoiphyllum spruceanum* (capirona). La inoculación de estas micorrizas nativas en la producción de plantones de capirona, como parte del proyecto de investigación, tiene como objetivo mejorar el crecimiento y la salud de las plantas, al aprovechar la simbiosis natural que beneficia la absorción de nutrientes esenciales. De este modo, el aislamiento de las esporas y su posterior

aplicación en los plantones es un paso fundamental para la optimización de la producción forestal en la provincia de Jaén. El procedimiento consistió en los siguientes pasos:

- Se tomaron 100 g de suelo, los cuales fueron hidratados en agua durante 30 minutos. Posteriormente, la muestra se agitó enérgicamente y se pasó a través de un sistema de tamices, desde el de mayor hasta, el de menor diámetro de poro.
- La fracción más fina obtenida se transfirió a tubos de centrifuga, a los que se añadió una solución de sacarosa al 70 % (p/v) con ayuda de una jeringa.
- Los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm por un lapso de 10 minutos, retirándolos con precaución para evitar la ruptura de la interfase agua–sacarosa.
- Finalmente, las esporas micorrízicas fueron contabilizadas e identificadas mediante observación en microscopio óptico, considerando tanto su tamaño como sus características morfológicas externas.

✓ **Determinar la forma de inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las semillas de *Calycophyllum spruceanum***

Una vez que las semillas germinaron, las plántulas fueron repicadas a los 45 días, trasladándolas desde la cama de almácigo hacia los recipientes individuales de crecimiento. Pero, antes del trasplante a los recipientes individuales, las raíces fueron sometidas a un proceso de remojo durante un periodo de 2 horas en la solución de micorrizas aisladas en laboratorio y para llevar a cabo este procedimiento, se prepararon soluciones, disolviendo las muestras obtenidas en el laboratorio en 100 ml de agua destilada por cada tratamiento (T0, T1, T2 y T3).

Posteriormente, las plántulas fueron puestas en contacto con los hongos micorrízicos en las cantidades correspondientes a cada tratamiento, (T0, testigo sin inoculación), 3 g (T1), 6 g (T2) y 10 g (T3). Este procedimiento tuvo como propósito favorecer la simbiosis entre las raíces de las plántulas y los hongos micorrízicos arbusculares (MVA) nativos, con el fin de

optimizar la absorción de nutrientes, fortalecer el sistema radicular y mejorar el desarrollo de las plantas.

✓ **Determinar la presencia de las micorrizas arbusculares nativas en las raíces de**

***Calycophyllum spruceanum* después de la inoculación**

Para esta parte del procedimiento se analizó una plántula por tratamiento en dos momentos: al inicio, correspondiente al día 0 después de la inoculación, con el propósito de verificar la presencia de esporas en las plántulas; y al día 90, considerado como el final del experimento, para evaluar el grado de colonización micorrízica en cada muestra. Para ello, se realizó la tinción y recuento de raíces micorrizadas, aplicando la técnica descrita por Phillips y Hayman (1970). Esta metodología permitió determinar el éxito de la colonización en términos porcentuales, identificar las estructuras presentes en las raíces y establecer el estado de colonización alcanzado. El procedimiento se llevó a cabo de la siguiente manera:

a) Primer momento (Día 0)

Para la evaluación de la colonización micorrízica se tomó una raíz perteneciente a una plántula de 45 días de edad. De esta raíz se obtuvieron tres segmentos de aproximadamente 1 cm de longitud cada uno, los cuales fueron pesados y posteriormente lavados con abundante agua corriente durante dos minutos. Una vez limpias, las raíces se colocaron en un frasco Erlenmeyer de 100 ml para iniciar el proceso de clarificación. Para ello, se adicionó una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10 %, en volumen suficiente para cubrir completamente las raíces, y se sometieron a baño María a 90 °C durante 15 minutos.

Concluido este paso, las raíces fueron lavadas cuidadosamente con agua corriente, empleando un tamiz fino para evitar la pérdida de material. A continuación, se sumergieron en una mezcla fresca de KOH al 10 % y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 10 %, en proporción 1:1, por un tiempo de 10 minutos, y posteriormente se enjuagaron nuevamente con agua corriente.

El siguiente paso consistió en la acidificación de las raíces mediante la inmersión en una solución de ácido clorhídrico (HCl) 1 N durante 10 minutos. Finalizada la acidificación, el ácido fue decantado y las raíces se lavaron con agua corriente. Luego, se procedió a la tinción colocando las raíces en una solución de azul de tripano al 0.05 %, manteniéndolas en baño María a 90 °C por 10 minutos. Una vez transcurrido este tiempo, el colorante fue retirado y conservado para reutilización en otros procesos.

Posteriormente, las raíces se lavaron con agua destilada y se depositaron en cajas Petri, donde permanecieron en reposo durante 12 horas, con el fin de eliminar el exceso de colorante. Finalmente, los segmentos teñidos fueron montados entre porta y cubreobjetos, y observados bajo un microscopio compuesto con aumento de 40X. Durante la observación se procedió la observación de campos colonizados por estructuras características de micorrizas arbusculares.

b) Segundo momento (Día 90)

Se obtuvieron 10 raíces y se pesaron, luego se lavaron con abundante agua corriente durante 2 minutos. Las raíces se colocaron en un frasco Erlenmeyer de 100 ml. Posteriormente, se realizó la clarificación de las raíces mediante la adición de una solución de Hidróxido de Potasio (KOH) al 10 %, hasta cubrir completamente las raíces, y se colocaron en baño María a 90 °C durante 15 minutos.

Después, se procedió a lavar las raíces con agua corriente, utilizando un tamiz para evitar pérdidas durante el enjuague. Luego, fueron sometidas a inmersión en una solución fresca de KOH al 10 % y Agua Oxigenada (H_2O_2) al 10 %, en proporción 1:1, durante 10 minutos. Tras este paso, se volvieron a lavar con agua corriente.

Se realizó la acidificación con una solución de Ácido Clorhídrico (HCl) 1 N durante 10 minutos. Posteriormente, se decantó el HCl y las raíces se lavaron nuevamente con agua corriente. Luego, se adicionó el colorante Azul de Tripán al 0.05 % y las raíces se colocaron en

baño María a 90 °C por 10 minutos. El colorante fue decantado y conservado para otros procesos.

Las raíces se lavaron con agua destilada y se depositaron en cajas Petri, dejándolas en reposo durante 12 horas para eliminar el exceso de colorante. Finalmente, las raíces se colocaron entre porta y cubreobjetos (10 raíces de aproximadamente 1 cm de largo cada una) y se observaron al microscopio compuesto con el objetivo de 40X.

Se contaron los campos colonizados por estructuras de micorrizas arbusculares (hifas, arbúsculos y vesículas) y los no colonizados.

Luego se empleó la fórmula para calcular el porcentaje de micorrizas:

$$(\%) = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número de campos totales observados}} \times 100$$

- ✓ **Determinar el crecimiento y desarrollo de las plántulas de (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann) inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero.**

Para determinar el crecimiento de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann inoculadas con micorrizas arbusculares en condiciones de vivero. En primer lugar, se realizó un seguimiento periódico de la altura de las plántulas, desde la base del tallo hasta el ápice, lo cual permitió identificar la influencia de los tratamientos en el incremento longitudinal. Asimismo, se registró el número de hojas desarrolladas y se observó su estado fitosanitario, como un indicador del vigor y la capacidad fotosintética de las plántulas.

De manera complementaria, se determinó el diámetro del tallo a nivel del cuello de la raíz, utilizando un vernier digital, ya que este parámetro refleja la robustez de la plántula y su potencial de supervivencia tras un eventual trasplante al campo. Se integraron los datos de altura, diámetro, número de hojas y biomasa en un análisis comparativo entre los tratamientos con diferentes dosis de inóculo (T0, T1, T2 y T3). Esto hizo posible establecer si la inoculación

con micorrizas arbusculares generó un efecto positivo, neutro o negativo en el crecimiento y desarrollo de las plántulas en condiciones de vivero, respondiendo de manera directa al objetivo planteado. Una vez concluido el periodo experimental, se llevó a la evaluación estadística de estos datos, mediante el programa estadístico de SPSS.

Para la evaluación del desarrollo, se realizó una evaluación cualitativa de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* durante la fase de vivero, con el propósito de complementar el análisis del crecimiento y cumplir con el objetivo planteado. Esta evaluación se efectuó mediante observación directa, considerando criterios morfológicos comúnmente utilizados en viveros forestales, tales como: vigor general de la plántula, coloración foliar, turgencia del tallo, estado del sistema radical al finalizar la evaluación, a los 90 días. La valoración se realizó de manera comparativa entre tratamientos, registrándose diferencias visibles en el desarrollo según la dosis de micorrizas arbusculares nativas aplicada. Los resultados se documentaron mediante registro fotográfico y descripciones cualitativas, permitiendo evidenciar el efecto de la inoculación micorrízica sobre el desarrollo integral de las plántulas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Selección semillas de *Calycophyllum spruceanum*

4.1.1. Obtención de semillas de *Calycophyllum spruceanum*

Figura 3

Semillas de *Calycophyllum spruceanum*



Nota. La figura muestra 100 g de semilla de *Calycophyllum spruceanum*

Tabla 2

Cantidad de semillas, porcentaje de germinación y plántulas de estudio empleadas de *Calycophyllum spruceanum*

Muestra	Número de semillas en 100 gr		
	Peso (g)	Número de semillas (1 g)	Número de semillas (100 g)
M1	1	3,029	302,900
Porcentaje de germinación			
Muestra	Peso (g)	Porcentaje de germinación	Número de semillas germinadas (5 g)
	5	60%	9,087

Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran que *Calycophyllum spruceanum* presenta una alta densidad de semillas, estimándose aproximadamente 302,9000 semillas por cada 100 g, lo que evidencia el reducido tamaño y la elevada capacidad reproductiva de la especie, característica común en especies forestales pioneras. A partir de una muestra de 5 g de semillas, se obtuvo un 60 % de germinación, lo que permitió generar en promedio 9,087 plántulas viables, resultado que se considera adecuado para condiciones de vivero y coincide con lo reportado por Martínez et al. (2023) y Quispe et al. (2023), quienes señalan que la capirona presenta tasas de germinación moderadas a altas cuando las semillas son frescas y se siembran bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Asimismo, el porcentaje de germinación obtenido refleja una adecuada viabilidad fisiológica del lote de semillas empleado, lo cual garantizó la disponibilidad de material vegetal homogéneo para el desarrollo del experimento. La selección posterior de 160 plántulas, distribuidas equitativamente en cuatro tratamientos, permitió asegurar un diseño experimental balanceado y controlado, minimizando sesgos iniciales y fortaleciendo la validez de la evaluación del efecto de la inoculación con micorrizas arbusculares nativas sobre el crecimiento y desarrollo de los plantones en vivero.

4.2. Verificación y aislamiento esporas de micorrizas arbusculares nativas de suelos forestales del bosque de Huamantanga

4.1.2. Aislamiento de esporas de micorrizas arbusculares nativas a partir de suelos forestales locales

La verificación y aislamiento de esporas de micorrizas arbusculares nativas se realizaron a partir de muestras de suelo tomadas en la rizósfera de un romerillo rojo (*Retrophyllum rospigliosii*), en el bosque de Huamantanga, centro poblado de San José de la Alianza, Jaén, Cajamarca. Este lugar fue elegido por su biodiversidad y la presencia de especies nativas que favorecen el desarrollo de micorrizas. Las muestras se recolectaron en la zona radicular del árbol y fueron trasladadas al laboratorio para su aislamiento.

Figura 4

Obtención de las esporas de micorrizas arbusculares nativas



Papel de filtro contenido las esporas después del centrifugado	Observación y verificación de la existencia de micorrizas en la muestra	Vista del microscopio con el lente de 40 X
---	---	---

La Figura 4 muestra la obtención y verificación de esporas de micorrizas arbusculares nativas mediante filtrado, centrifugado y observación microscópica a 40×, evidenciándose la presencia de propágulos micorrízicos viables en la muestra de suelo forestal. Esta observación confirma que el material recolectado fue apto para el proceso de inoculación, lo cual concuerda con lo señalado por Arteaga et al. (2020) y Ramírez et al. (2022), quienes destacan que los inóculos nativos provenientes de suelos forestales presentan mayor compatibilidad y eficacia en la colonización radicular de especies forestales en vivero.

Tabla 3

Número de esporas de 1 gr de muestra extraída de la rizosfera de *Retrophyllum rospigliosii*

Muestra	Recuento de esporas en 1 g de suelo	Total, de esporas en 100 g de suelo	Total, de micorrizas inoculadas en la muestra de 3 g	Total, de micorrizas inoculadas en la muestra de 6 g	Total, de micorrizas inoculadas en la muestra de 10 g
T-1	87				
T-2	92				
T-3	89				
T-4	102				
PROMEDIO	93	9300	279	558	930

En la tabla 03, se visualiza que la muestra de suelo del bosque de Huamantanga presentó un promedio de 93 esporas por gramo, equivalente a 9,300 esporas en 100 g de suelo.

Según la cantidad utilizada para inoculación, se lograron 279 esporas con 3 g, 558 con 6 g y hasta 930 con 10 g, confirmando que este suelo es una fuente adecuada de inóculo micorrízico para la inoculación de plántulas de *Calycophyllum spruceanum*.

4.3. Determinación de la forma de inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las semillas de *Calycophyllum spruceanum*.

4.1.1. Inoculación de plántulas de *Calycophyllum spruceanum* con micorrizas arbusculares nativas mediante el método de inmersión

Figura 5

Inoculación de plántulas de *Calycophyllum spruceanum* con micorrizas arbusculares nativas mediante el método de inmersión



La figura 5 evidencia la inoculación de plántulas de *Calycophyllum spruceanum* mediante remojo radicular durante 2 horas en una suspensión de micorrizas arbusculares

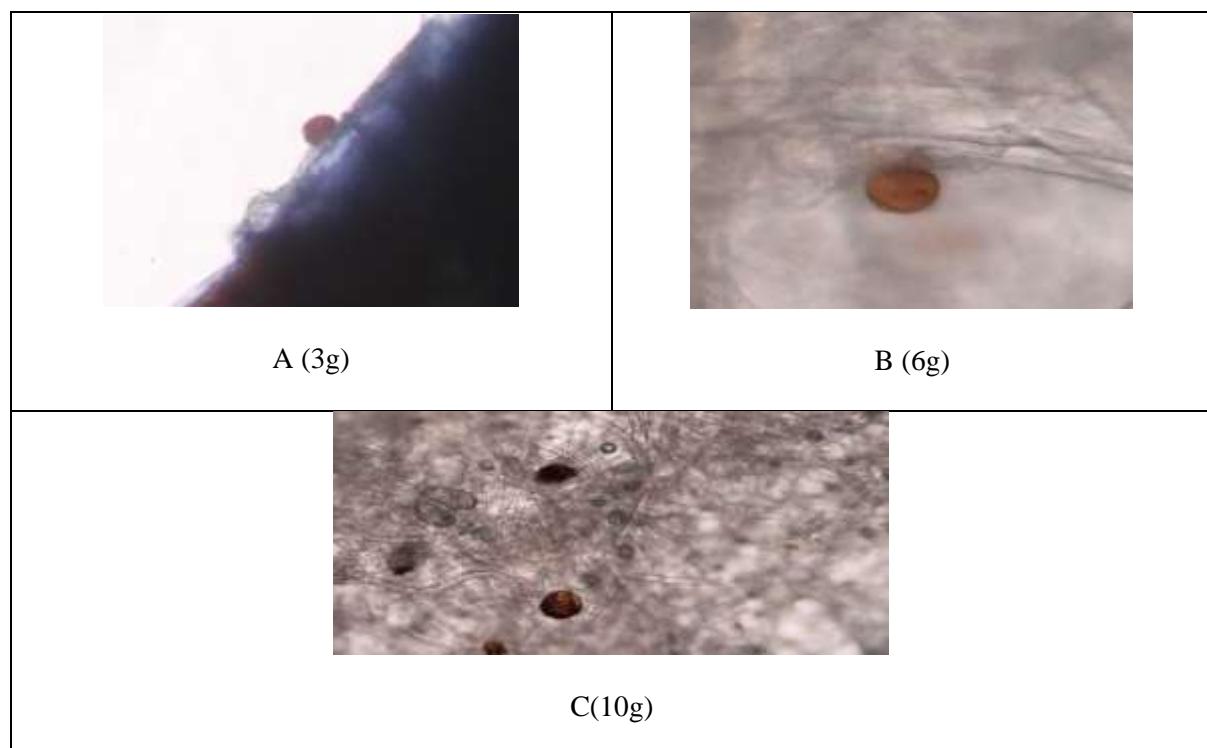
nativas, tiempo que favorece el contacto directo entre el inóculo y las raíces y aumenta la probabilidad de colonización temprana sin generar estrés en las plántulas. Este procedimiento es coherente con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que la eficacia de la micorrización artificial depende del contacto directo y del tiempo de exposición del sistema radical al inóculo, lo cual permite explicar la respuesta positiva observada posteriormente en las variables de crecimiento y supervivencia de los plantones en vivero.

4.4. Determinar la presencia de las micorrizas arbusculares nativas en las raíces de *Calycophyllum spruceanum* después de la inoculación

4.4.1 Inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las plántulas de *Calycophyllum spruceanum*

Figura 6

Inoculación de esporas de micorrizas arbusculares nativas, observación pre – repique (día – 0)



Nota. En las figuras se observan la adherencia de las esporas en las raíces de las plántulas de capirona diferenciándose la de 10g que presenta más esporas.

La Figura 6 evidencia la adherencia de esporas de micorrizas arbusculares nativas en las raíces de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* en la etapa previa al repique (día 0), observándose una mayor concentración de esporas en el tratamiento con 10 g en comparación con las dosis de 3 g y 6 g. Esta diferencia sugiere que una mayor dosis de inóculo incrementa la disponibilidad de estructuras infectivas y, en consecuencia, la probabilidad de una colonización temprana del sistema radical. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que la eficacia de la micorización artificial depende directamente de la cantidad de inóculo y del contacto inicial entre las esporas y las raíces, lo que permite explicar las respuestas superiores observadas posteriormente en las variables de crecimiento y calidad de los plantones.

4.5. Determinación del crecimiento y desarrollo de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero

4.5.1 Crecimiento de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero

ANOVA de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
Tratamiento	305,809	3	101,936	27,679	2,70	0,000
Error	383,013	104	3,683			
Total	688,822	107				

La tabla 4, muestra los resultados obtenidos evidencian que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas no genera un efecto homogéneo sobre la altura de crecimiento de los plantones de *Calycophyllum spruceanum* a los 90 días, sino que su influencia depende directamente de la dosis aplicada. Si bien el ANOVA confirmó la existencia de diferencias significativas entre tratamientos ($F = 27.679$; $p = 0.000$).

En particular, la dosis de 3 g no mostró un efecto significativo sobre la altura, al conformar un subconjunto homogéneo sin diferencias estadísticas con los demás tratamientos. Este comportamiento sugiere que una baja concentración de micorrizas no es suficiente para establecer una simbiosis funcional capaz de reflejarse en el crecimiento aéreo del plantón. De forma similar, la ausencia de diferencias significativas entre el tratamiento patrón y la dosis de 6 g indica que esta concentración intermedia tampoco mejora la altura del plantón respecto al control, lo que podría estar asociado a una colonización micorrízica insuficiente o a condiciones del sustrato que limitan la expresión de los beneficios de la simbiosis.

En contraste, la dosis de 10 g de micorrizas arbusculares nativas presentó un incremento significativo en la altura de crecimiento, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Este resultado evidencia un claro efecto dosis–respuesta, donde solo una mayor cantidad de inóculo permite que la asociación micorrízica se exprese de manera efectiva en esta variable morfológica. Desde un enfoque fisiológico, este comportamiento puede atribuirse a un mayor desarrollo del micelio extrarradical, el cual amplía la zona de exploración del sistema radical y favorece una mayor absorción de nutrientes, especialmente aquellos de baja movilidad en el sustrato.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Falcón et al. (2021) y Melgarejo, quienes señalan que los beneficios de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas forestales se manifiestan principalmente cuando se alcanza una adecuada intensidad de colonización. Asimismo, Silva et al. (2022) destacan que los efectos positivos de las micorrizas sobre variables aéreas, como la altura, se hacen evidentes una vez consolidada la simbiosis.

Los resultados permiten afirmar que la micorrización no mejora de manera general la altura de los plantones, pero sí resulta efectiva cuando se aplica una dosis de 10 g, confirmando que la respuesta en altura de *Calycophyllum spruceanum* depende del nivel de inoculación micorrízica y no simplemente de su aplicación.

Tabla 5

Tukey^{a,b} (HSD) de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días

TRATAMIENTO CON MICORRIZAS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
ARBUSCULARES NATIVAS				
Dosis (3 g)	24	6,7287		
Sin tratamiento-Patrón	26		8,3462	
Dosis (6 g)	28			8,6161
Dosis (10 g)	30			11,3660
Sig.		1,000	,955	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 26,814.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

La Tabla 5 muestra la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) permitió identificar las diferencias específicas en la altura de crecimiento de los plantones de *Calycophyllum spruceanum* a los 90 días. Los resultados indicaron que la dosis de 3 g conformó un subconjunto homogéneo independiente, sin diferencias significativas con los demás tratamientos, evidenciando que esta concentración no influyó en la altura del plantón. Asimismo, el tratamiento patrón (sin micorrizas) y la dosis de 6 g presentaron un crecimiento estadísticamente similar, lo que indica que esta concentración no mejora la altura en comparación con el control.

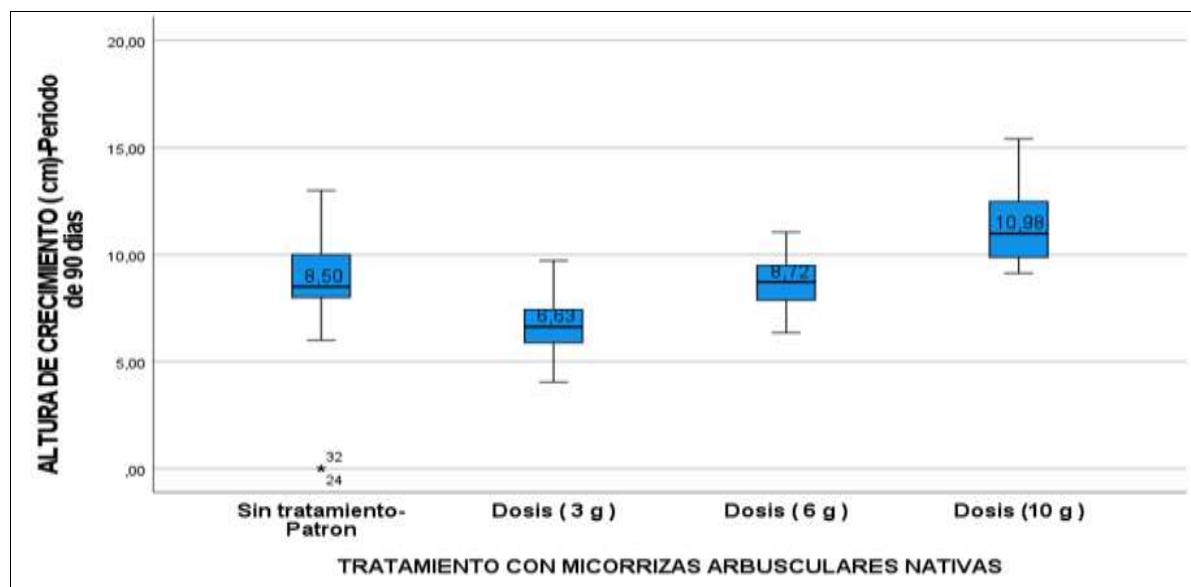
En contraste, la dosis de 10 g de micorrizas arbusculares nativas presentó la mayor altura de crecimiento, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos ($p < 0.05$). Este resultado evidencia que solo la dosis más alta generó un efecto positivo en la altura del plantón, sugiriendo un efecto dosis–respuesta. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Falcón et al. (2021) y Melgarejo, quienes indican que una mayor intensidad de micorrización favorece el crecimiento de plántulas forestales en vivero. De manera similar, Silva et al. (2022) señalan que, una vez consolidada la colonización micorrízica, se optimiza la

absorción de nutrientes, especialmente fósforo, lo que se traduce en un mayor crecimiento en altura.

Desde el punto de vista fisiológico, el mayor crecimiento observado con la dosis de 10 g puede explicarse por un mayor desarrollo del micelio extrarradical, que amplía la zona de exploración del sistema radical y mejora la captación de nutrientes poco disponibles, tal como describen De la Providencia et al. (2021). En conjunto, los resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejora la altura del plantón únicamente cuando se aplica una dosis de 10 g, mientras que dosis inferiores no presentan efectos significativos a los 90 días.

Figura 7

Comparativo de la altura de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días



La figura 7 muestra el gráfico de cajas del comparativo de la altura de crecimiento de los plantones de *Calycophyllum spruceanum* (capirona) a los 90 días muestra que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas tuvo un efecto positivo y diferenciado según la dosis aplicada, evidenciándose que el tratamiento con 10 g alcanzó la mayor altura promedio, con valores cercanos a 10,98 cm, seguido por la dosis de 6 g, con aproximadamente 8,72 cm, mientras que el tratamiento sin inoculación presentó una altura intermedia de alrededor de 8,50

cm, y la dosis de 3 g registró el menor crecimiento, con valores próximos a 6,63 cm. Este patrón sugiere que la respuesta en altura de la capirona es dependiente de la dosis del inóculo micorrízico, siendo más eficiente a dosis mayores, lo cual concuerda con lo reportado por Falcón et al. (2021), quienes señalan que la inoculación con micorrizas mejora significativamente el crecimiento longitudinal de plántulas forestales en vivero. Asimismo, Melgarejo (2020) destaca que las micorrizas favorecen el desarrollo vegetativo al optimizar la absorción de nutrientes esenciales, lo que se refleja en una mayor altura de las plantas micorrizadas frente a dosis menores o tratamientos no inoculados. Desde el punto de vista fisiológico, este comportamiento puede explicarse por el rol del micelio extrarradical en la captación de fósforo descrito por Ramírez et al. (2022), el cual se traduce en un mayor vigor y crecimiento aéreo conforme se consolida la simbiosis. En conjunto, los resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas, especialmente a una dosis de 10 g, mejora significativamente la altura de los plantones de capirona a los 90 días, contribuyendo a la obtención de plantas con mejores características morfológicas para su establecimiento en campo y su uso en programas de reforestación.

Tabla 6

ANOVA del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
Tratamiento	429,191	3	143,064	49,637	2,70	0,000
Error	296,868	103	2,882			
Total	726,059	106				

Los resultados de la Tabla 6, muestra el análisis de varianza (ANOVA) de realizado para evaluar el diámetro del tallo de los plantones de capirona evidenció diferencias

estadísticas altamente significativas entre los tratamientos evaluados. La suma de cuadrados entre grupos fue de 429,191 con 3 grados de libertad, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos alcanzó 296,868 con 103 grados de libertad, obteniéndose una suma total de 726,059. La media cuadrática entre grupos (143,064) fue notablemente superior a la media cuadrática dentro de los grupos (2,882), lo que indica que la mayor proporción de la variabilidad observada se debe al efecto de los tratamientos aplicados y no a variaciones aleatorias.

El valor de F calculado (49,637) superó ampliamente al F tabulado (2,70), con un nivel de significancia $p = 0,000$, lo que permitió rechazar la hipótesis nula y confirmar que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas influyó significativamente en el diámetro del tallo de los plantones. Este resultado demuestra que los tratamientos micorrizados generaron respuestas diferenciadas en el crecimiento radial del tallo, variable considerada un indicador clave de calidad morfológica y vigor estructural en plantones forestales.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Melgarejo (2020), quien señala que el diámetro del tallo es un indicador fundamental de la calidad y robustez de los plantones, observándose incrementos significativos en aquellos inoculados con micorrizas en comparación con el testigo. De igual forma, Falcón et al. (2021) indican que la inoculación micorrízica mejora la calidad morfológica de las plántulas forestales, reflejándose en un mayor desarrollo estructural y una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes.

Desde el punto de vista fisiológico, el incremento significativo del diámetro del tallo puede explicarse por la acción del micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares, el cual incrementa la captación de fósforo y otros nutrientes esenciales, favoreciendo la síntesis de tejidos estructurales y el crecimiento radial del tallo, tal como describen Ramírez et al. (2022). Este mecanismo contribuye a la formación de plantones más robustos, con mayor estabilidad mecánica y mejor capacidad de establecimiento en campo.

En conjunto, los resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas constituye una estrategia eficaz para mejorar el diámetro del tallo de los plantones de capirona, contribuyendo a la obtención de plantas con mejores características morfológicas y mayor probabilidad de supervivencia en condiciones de campo.

Tabla 7

Tukey^{a,b}(HSD) del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días

TRATAMIENTO CON MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Dosis (3 g)	24	5,7042		
Sin tratamiento-Patron	24	6,0083		
Dosis (6 g)	29		7,4414	
Dosis (10 g)	30			10,6633
Sig.		,915	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 26,464.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

La Tabla 7 presenta los resultados de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para el diámetro de tallo de los plantones de capirona (*Calycophyllum spruceanum*) evaluados a los 90 días. La prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ($\alpha = 0.05$) permitió identificar diferencias significativas en el diámetro del tallo de los plantones de capirona entre los tratamientos con micorrizas arbusculares nativas. Los resultados muestran la conformación de tres subconjuntos homogéneos, evidenciando una respuesta diferenciada del crecimiento radial del tallo según la dosis aplicada.

El subconjunto 1 estuvo conformado por la dosis de 3 g, con una media de 5,7042, y el tratamiento patrón, con una media de 6,0083, sin diferencias significativas entre ambos (Sig. = 0,915). Este resultado indica que la dosis de 3 g no mejora el diámetro del tallo respecto al

control, evidenciando que esta concentración de micorrizas no es suficiente para inducir un efecto positivo en esta variable morfológica.

El subconjunto 2 estuvo representado por la dosis de 6 g, que alcanzó una media de 7,4414, mostrando una separación respecto al subconjunto del patrón. Este incremento sugiere una mejora moderada en el diámetro del tallo; sin embargo, al conformar un subconjunto homogéneo independiente ($\text{Sig.} = 1,000$), el efecto aún resulta limitado en términos de diferenciación total frente a los demás tratamientos.

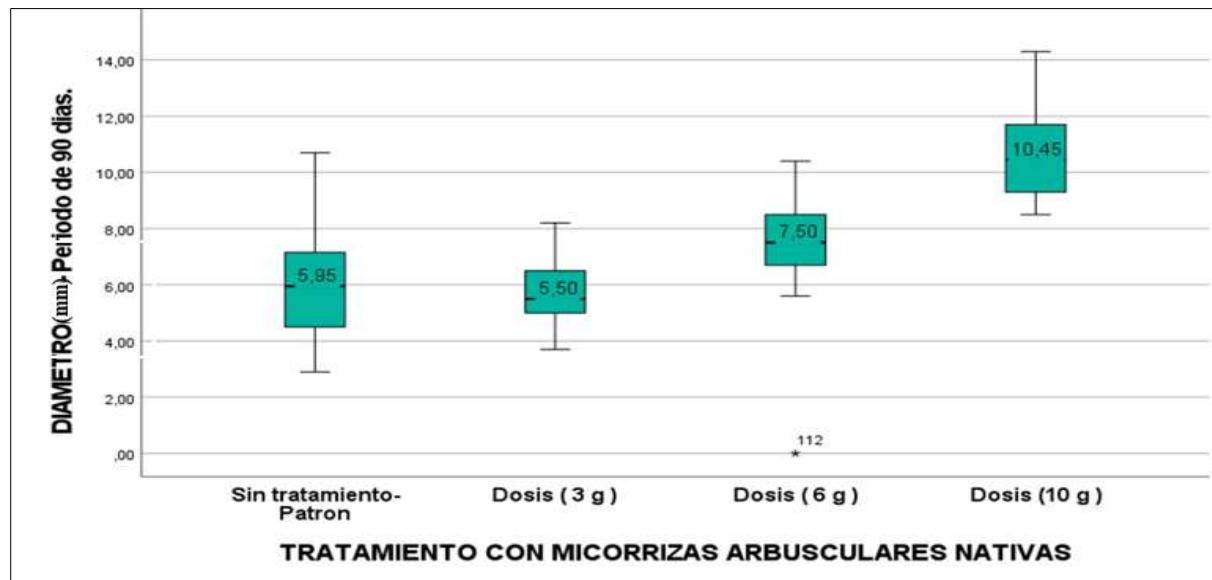
El subconjunto 3 estuvo conformado exclusivamente por la dosis de 10 g, que presentó la mayor media (10,6633) y se diferenció estadísticamente de los demás tratamientos ($\text{Sig.} = 1,000$). Este resultado confirma que la dosis más alta de micorrizas arbusculares nativas genera un incremento significativo en el diámetro del tallo, evidenciando un claro efecto dosis–respuesta, donde el crecimiento radial aumenta conforme se incrementa la cantidad de inóculo.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Falcón et al. (2021), quienes indican que la mejora en la calidad morfológica de las plántulas micorrizadas se refleja en un mayor desarrollo estructural, asociado a una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. Desde el punto de vista fisiológico, este comportamiento se explica por la acción del micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares, el cual incrementa la absorción de fósforo y otros nutrientes esenciales, favoreciendo el crecimiento radial del tallo conforme se consolida la simbiosis, tal como lo describen Ramírez et al. (2022).

En conjunto, la prueba de Tukey HSD confirma que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejora significativamente el diámetro del tallo de los plantones de capirona, especialmente cuando se aplica una dosis de 10 g, contribuyendo a la obtención de plantas con mejores características morfológicas y mayor potencial de supervivencia al trasplante en campo.

Figura 8

Comparativo del diámetro del tallo de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo de 90 días



La figura 8 muestra el diagrama de cajas del diámetro de tallo a los 90 días evidencia de manera clara que la El gráfico del diámetro del tallo a los 90 días muestra que la respuesta de los plantones de *Calycophyllum spruceanum* a la inoculación con micorrizas arbusculares nativas depende de la dosis aplicada. El tratamiento sin micorrizas (5,95 mm) y la dosis de 3 g (5,50 mm) presentaron valores similares, lo que indica que esta concentración baja no mejora el crecimiento radial del tallo. En cambio, la dosis de 6 g (7,50 mm) evidenció un incremento moderado, mientras que la dosis de 10 g (10,45 mm) alcanzó el mayor diámetro, confirmando un claro efecto dosis–respuesta.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Melgarejo, quien destaca al diámetro del tallo como un indicador clave de calidad y vigor del plantón, y con Falcón et al., quienes reportan mejoras en la calidad morfológica de plántulas micorrizadas. Desde el punto de vista fisiológico, este comportamiento se explica por la acción del micelio extrarradical, que incrementa la absorción de fósforo y otros nutrientes esenciales, favoreciendo el crecimiento radial del tallo, tal como describen Ramírez et al. (2022).

En conjunto, los resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejora significativamente el diámetro del tallo de los plantones de capirona, especialmente a dosis altas, contribuyendo a la obtención de plantas con mejores características morfológicas y mayor potencial de supervivencia en campo.fisiológico, este efecto puede explicarse por la mayor absorción de fósforo y otros nutrientes esenciales mediada por el micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares, tal como lo describe Ramírez et al. (2022), favoreciendo así el crecimiento radial del tallo. En conjunto, estos resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas, especialmente en dosis de 10 g, mejora significativamente el diámetro de los plantones de capirona, incrementando su calidad morfológica y su potencial de supervivencia en el trasplante a campo.

Tabla 8

ANOVA del número de hojas de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo 90 días

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
Tratamiento	70,685	3	23,562	5,760	2,70	0,001
Error	425,417	104	4,091			
Total	496,102	107				

Los resultados de la Tabla 8 correspondientes al análisis de varianza (ANOVA) del número de hojas de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* evaluadas a los 90 días, evidenció diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. La suma de cuadrados entre grupos fue de 70,685 con 3 grados de libertad, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos alcanzó 425,417 con 104 grados de libertad, obteniéndose una suma total de 496,102. La media cuadrática entre grupos (23,562) fue superior a la media cuadrática dentro de los grupos (4,091), lo que indica que parte importante de la variabilidad observada en el número de hojas se debe al efecto de los tratamientos aplicados.

El valor de F calculado (5,760) superó al F tabulado (2,70) y se asoció a un nivel de significancia $p = 0,001$, lo que permitió rechazar la hipótesis nula y confirmar que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas influyó significativamente en el número de hojas de las plántulas. Este resultado demuestra que los tratamientos micorrizados generaron respuestas diferenciadas en esta variable foliar, considerada un indicador importante del desarrollo vegetativo y del estado fisiológico de las plantas en vivero.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Falcón et al. (2021) y Melgarejo, quienes señalan que las variables foliares responden de manera progresiva a la inoculación micorrízica conforme se consolida la simbiosis. Asimismo, Silva et al. (2022) indican que el incremento en el número de hojas está asociado a una mayor eficiencia fotosintética, como resultado de una mejor absorción de nutrientes esenciales.

Desde el punto de vista fisiológico, este comportamiento se explica por la acción del micelio extrarradical de los hongos micorrízicos arbusculares, el cual incrementa la captación de fósforo y otros nutrientes esenciales, favoreciendo el desarrollo vegetativo y la emisión de nuevas hojas, tal como lo describen De la Providencia et al. (2021) y Rivera-Cruz et al. (2023). De manera complementaria, el meta-análisis de Wu et al. (2024) respalda que los efectos positivos de la micorrización sobre variables vegetativas se intensifican con el tiempo, especialmente en especies forestales de rápido crecimiento como la capirona.

En conjunto, los resultados confirman que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejora significativamente el número de hojas de las plántulas de capirona a los 90 días, contribuyendo a una mayor calidad morfológica y vigor vegetal durante la fase de vivero.

Tabla 9

Tukey^{a,b} (HSD) del número de hojas de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo 90 días

TRATAMIENTO CON MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosis (3 g)	26	7,1538	
Dosis (6 g)	28	7,6786	7,6786
Dosis (10 g)	30		8,9667
Sin tratamiento-Patron	24		9,0417
Sig.		,778	,071

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 26,814.

b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utiliza la media armónica de los tamaños de grupo. Los niveles de error de tipo I no están garantizados.

La prueba HSD de Tukey aplicada al número de hojas a los 90 días evidenció la conformación de dos subconjuntos homogéneos al nivel de significancia de 0,05. En el subconjunto 1 se agruparon los tratamientos Dosis 3 g (7,1538 hojas) y Dosis 6 g (7,6786 hojas), mientras que el subconjunto 2 estuvo conformado por Dosis 6 g (7,6786 hojas), Dosis 10 g (8,9667 hojas) y el tratamiento sin micorrizas (patrón) (9,0417 hojas). Los valores de significancia obtenidos (Sig. = 0,778 y Sig. = 0,071) fueron mayores a 0,05, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en este periodo.

A pesar de la ausencia de significancia estadística, se observa una tendencia numérica hacia un mayor número de hojas en los tratamientos Dosis 10 g y sin tratamiento, lo que sugiere que, a los 90 días, la inoculación con micorrizas arbusculares nativas no ejerce un efecto diferencial claro sobre la emisión foliar, o que dicho efecto se encuentra atenuado por otros factores ambientales o fisiológicos.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Smith y Read (2008), quienes indican que los beneficios de las micorrizas arbusculares no siempre se expresan de manera uniforme en todas las variables morfológicas, siendo el número de hojas una de las menos sensibles,

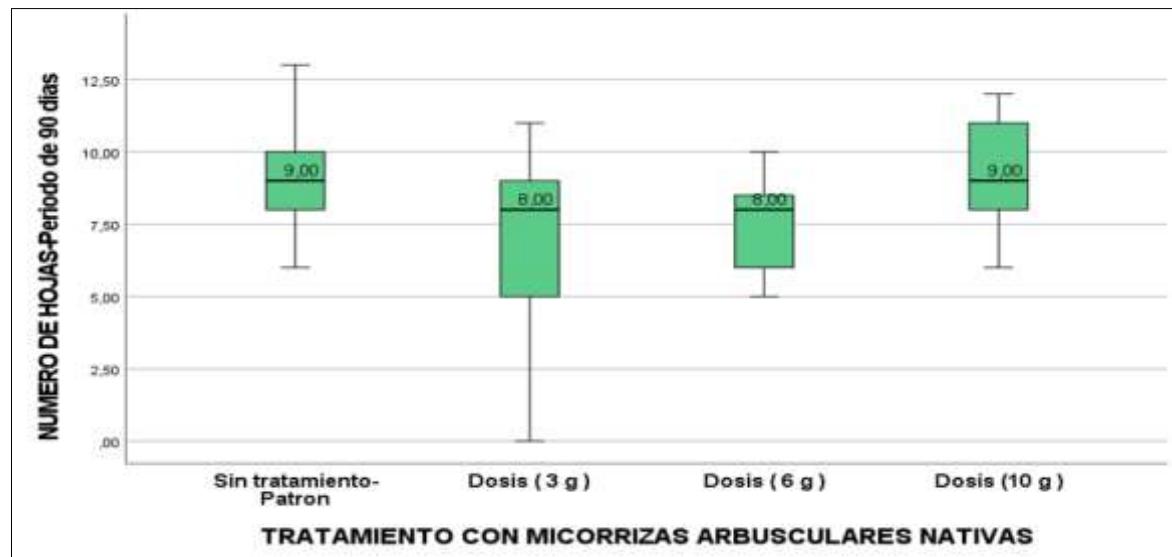
especialmente cuando el sustrato presenta una disponibilidad adecuada de nutrientes. De manera similar, Brundrett (2009) sostiene que la respuesta foliar puede no reflejar directamente la eficiencia de la simbiosis micorrízica, ya que esta se manifiesta con mayor claridad en variables asociadas a la absorción de nutrientes y al crecimiento estructural.

Asimismo, Azcón y Barea (2015) señalan que, en etapas avanzadas del desarrollo vegetal, el efecto de las micorrizas puede verse reducido debido a la estabilización fisiológica de la planta y a la competencia interna por asimilados, lo que explicaría la presencia del tratamiento sin inoculación dentro del subconjunto con mayores medias. Esta situación también fue reportada por Carreón-Abud et al. (2018), quienes observaron que el número de hojas no siempre presenta diferencias significativas entre plantas inoculadas y no inoculadas, aun cuando otras variables de crecimiento sí muestran respuestas positivas.

Los resultados indican que a los 90 días la inoculación con micorrizas arbusculares nativas no influye significativamente en el número de hojas, aunque se mantiene una tendencia favorable en los tratamientos con mayor dosis. Por tanto, el número de hojas no se presenta como la variable más adecuada para evaluar el efecto micorrízico en este periodo, siendo necesario complementarla con otras variables de crecimiento para una interpretación integral del desarrollo vegetal.

Figura 9

Comparativo del número de hojas de los plantones bajo diferentes tratamientos a lo largo 90 días



La figura 9 muestra el diagrama de cajas muestra que el número de hojas de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* a los 90 días presenta variaciones moderadas entre los tratamientos con micorrizas arbusculares nativas. El tratamiento sin micorrizas (patrón) registró una mediana cercana a 9 hojas, con una dispersión moderada, lo que indica un desarrollo foliar relativamente estable en ausencia de inoculación. La dosis de 3 g presentó una mediana aproximada de 8 hojas, con mayor variabilidad, evidenciando que esta dosis baja no favorece de manera consistente la emisión foliar. De forma similar, la dosis de 6 g mostró una mediana también cercana a 8 hojas, con una distribución relativamente homogénea, lo que sugiere un comportamiento vegetativo equilibrado, pero sin un incremento marcado respecto al control.

La dosis de 10 g alcanzó nuevamente una mediana de 9 hojas, comparable al tratamiento patrón, aunque con una ligera tendencia a valores superiores. Este patrón visual confirma que, si bien la micorrización no genera un aumento significativo y sostenido en el número de hojas, tampoco afecta negativamente el desarrollo foliar, manteniendo un crecimiento estable entre los tratamientos evaluados.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Falcón et al. (2021) y Melgarejo, quienes indican que las variables foliares pueden presentar respuestas menos consistentes a la micorrización, debido a que las plantas priorizan inicialmente el desarrollo estructural antes que la emisión foliar. Desde el punto de vista fisiológico, Silva et al. (2022) señalan que la micorrización mejora la eficiencia nutricional y el equilibrio fisiológico de la planta, lo que suele reflejarse en un crecimiento foliar más estable, más que en un incremento pronunciado del número de hojas.

Asimismo, De la Providencia et al. (2021) y Rivera-Cruz et al. (2023) explican que la acción del micelio extrarradical incrementa la absorción de fósforo, el cual puede redistribuirse preferentemente hacia el crecimiento en altura y diámetro del tallo, en lugar de destinarse exclusivamente a la producción foliar. En este sentido, el meta-análisis de Wu et al. (2024) respalda que, en especies forestales de rápido crecimiento como la capirona, la micorrización favorece el desarrollo integral de la planta más que el incremento aislado del número de hojas.

En conjunto, la interpretación del gráfico confirma que a los 90 días el número de hojas no presenta diferencias marcadas entre los tratamientos, aunque los tratamientos micorrizados mantienen un comportamiento vegetativo equilibrado, asociado a una adecuada calidad morfológica general de los plantones durante la fase de vivero.

Tabla 10

Supervivencia de plantones de *Calycophyllum spruceanum* con los diferentes tratamientos de 0 - 90 días

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
Tratamiento	100,714	3	33,571	1,103	3,01	0,367
Error	730,286	24	30,429			
Total	831,000	27				

La tabla 10, muestra los resultados de supervivencia de plantones de *Calycophyllum spruceanum* muestran que, al inicio del experimento (0 días), todos los tratamientos presentaron una supervivencia del 100 %, lo que indica condiciones iniciales homogéneas y adecuadas de vivero. Sin embargo, conforme avanzó el periodo de evaluación (15–90 días), se evidenció una disminución progresiva de la supervivencia, con diferencias en el comportamiento entre tratamientos. En términos generales, los tratamientos inoculados con micorrizas arbusculares, especialmente las dosis de 6 % y 10 %, mantuvieron mayores porcentajes de supervivencia en comparación con el tratamiento testigo y la dosis de 3 %, particularmente a partir de los 30 días. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Falcón et al. (2021) y Melgarejo (2020), quienes señalan que la micorrización mejora la tolerancia de las plántulas al estrés propio de la etapa de vivero, reduciendo la mortalidad conforme se establece la simbiosis. La mayor estabilidad en la supervivencia observada en los tratamientos de 6 % y 10 % puede explicarse por el fortalecimiento del sistema radical y la mejora en la absorción de agua y nutrientes, principalmente fósforo, facilitada por el micelio extrarradical. El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el porcentaje de supervivencia de los plantones mostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados. La suma de cuadrados entre grupos fue de 100,714 con 3 grados de libertad, mientras que la suma de cuadrados dentro de los grupos alcanzó 730,286 con 24 grados de libertad, obteniéndose una suma total de 831,000. La media cuadrática entre grupos (33,571) fue similar a la media cuadrática dentro de los grupos (30,429), lo que evidencia una alta variabilidad interna.

El valor de F calculado (1,103) fue menor que el F tabulado (3,01) y se asoció a un nivel de significancia $p = 0,367$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que, estadísticamente, los tratamientos con micorrizas arbusculares nativas no produjeron diferencias significativas en la supervivencia de los plantones durante el periodo evaluado.

No obstante, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas, se observa una tendencia biológica favorable en los tratamientos con mayores dosis de micorrizas, especialmente en las fases finales del periodo de evaluación (75 y 90 días), donde el tratamiento con 10 % de micorrizas alcanzó un 75 % de supervivencia, seguido por la dosis de 6 % (70 %), mientras que el tratamiento testigo y la dosis de 3 % registraron valores menores (60 %). Este comportamiento sugiere que la micorrización podría contribuir a mejorar la supervivencia temprana de los plantones, aunque sin alcanzar significancia estadística bajo las condiciones del presente estudio.

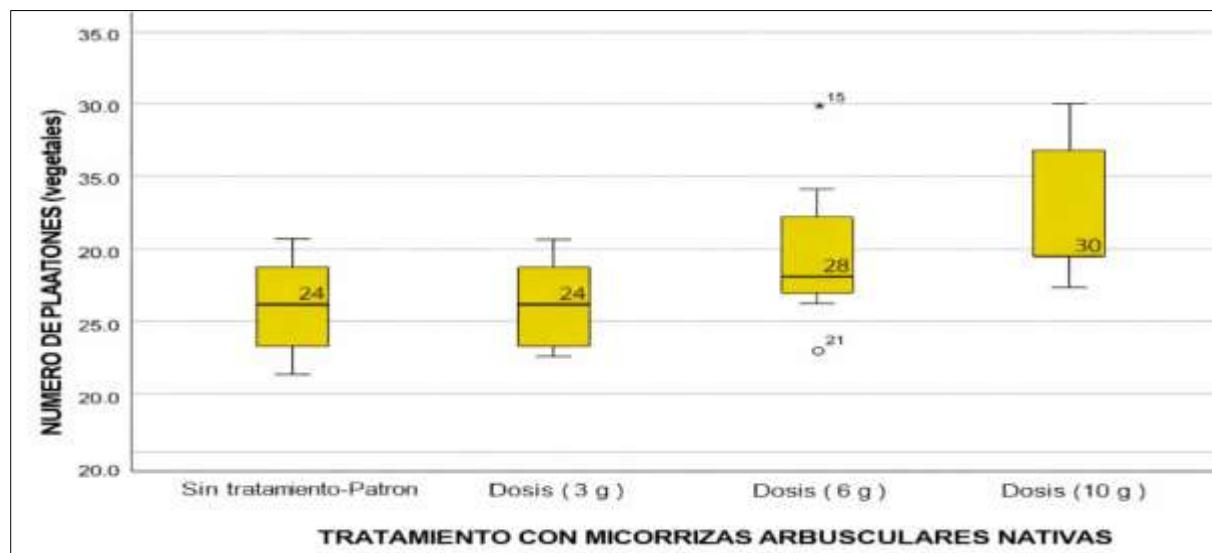
Este mecanismo ha sido descrito por Silva, y explicado fisiológicamente por De la Providencia y Rivera-Cruz, quienes señalan que las micorrizas arbusculares incrementan la zona de exploración radicular y la eficiencia en la absorción de nutrientes, favoreciendo la tolerancia al estrés y la supervivencia inicial de las plantas. Asimismo, el meta-análisis de Wu et al. (2024) indica que los efectos positivos de la micorrización sobre la supervivencia vegetal tienden a intensificarse con el tiempo, especialmente en especies forestales de rápido crecimiento.

De manera complementaria, Quispe et al. (2023) señalan que, en especies como la capirona, la micorrización en vivero contribuye a mejorar la calidad general del plantón y su capacidad de supervivencia, aun cuando las diferencias estadísticas no siempre son evidentes en etapas tempranas o bajo condiciones ambientales controladas.

En conjunto, los resultados indican que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas no generó diferencias estadísticamente significativas en la supervivencia de los plantones, pero sí mostró una tendencia favorable en las dosis de 6 % y 10 %, lo que resalta el potencial de la micorrización como una práctica biotecnológica complementaria para fortalecer la calidad y resiliencia de los plantones forestales en vivero.

Figura 10

Supervivencia de plántulas de *Calycophyllum spruceanum* con los diferentes tratamientos de 0 - 90 días



La figura 10 muestra un el diagrama de cajas muestra que el número de plantones presenta variaciones entre los tratamientos con micorrizas arbusculares nativas, aunque con una tendencia general moderada. El tratamiento sin micorrizas (patrón) registra una mediana de 24 plantones, con una dispersión apreciable, lo que evidencia variabilidad en la respuesta en ausencia de inoculación. De manera similar, la dosis de 3 g también presenta una mediana de 24 plantones, indicando que esta concentración baja no genera un incremento en el número de plantones y muestra un comportamiento comparable al control.

En contraste, la dosis de 6 g presenta una mediana superior de 28 plantones, con menor dispersión, lo que sugiere un comportamiento más uniforme y estable del número de plantones. La dosis de 10 g alcanza la mayor mediana (30 plantones), evidenciando una respuesta favorable y consistente respecto a las dosis bajas y al tratamiento patrón, aunque sin representar un incremento abrupto.

Estos resultados sugieren que las dosis intermedias y altas de micorrizas arbusculares nativas tienden a mantener y estabilizar el número de plantones, mientras que la dosis baja (3

g) no muestra un efecto diferenciador. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Silva, quienes señalan que la micorrización contribuye a mejorar la eficiencia nutricional y la estabilidad fisiológica de las plantas, favoreciendo su establecimiento. Desde un enfoque fisiológico, De la Providencia y Rivera-Cruz explican que el micelio extrarradical incrementa la exploración radicular y la absorción de nutrientes, lo que puede traducirse en mayor permanencia y vigor de los plantones.

4.5.2 Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas, después de 90 días de evaluación

Tabla 11

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas del testigo

T-0	HIFAS (#)	ARBUSCULOS (#)	VESÍCULAS (#)	ESPORAS (#)
R1	0	0	0	0
R2	0	0	0	0
R3	0	0	0	0
R4	0	0	0	0
R5	0	0	0	0
R6	0	0	0	0
R7	0	0	0	0
R8	0	0	0	0
R9	0	0	0	0
R10	0	0	0	0
PROMEDIO	0	0	0	0

La Tabla 11 muestra que el tratamiento testigo (T-0) presentó una ausencia total de colonización micorrízica, evidenciada por valores nulos de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en todas las repeticiones evaluadas, con promedios de cero en todas las variables. Este resultado confirma que, en ausencia de inoculación, las raíces de *Calycophyllum spruceanum* no establecen de manera espontánea una simbiosis micorrízica bajo las condiciones de vivero empleadas, lo que valida al tratamiento T-0 como un grupo de referencia adecuado para contrastar el efecto de los tratamientos inoculados. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que la colonización micorrízica depende de la presencia efectiva de propágulos infectivos en el sustrato, siendo poco probable su

establecimiento en ambientes controlados cuando no se aplica inóculo. Asimismo, Arteaga et al. (2020) destacan que la presencia de estructuras micorrízicas en raíces forestales está directamente asociada a la disponibilidad de hongos nativos en el suelo, lo cual explica la ausencia de colonización en el tratamiento testigo.

Tabla 12

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 1

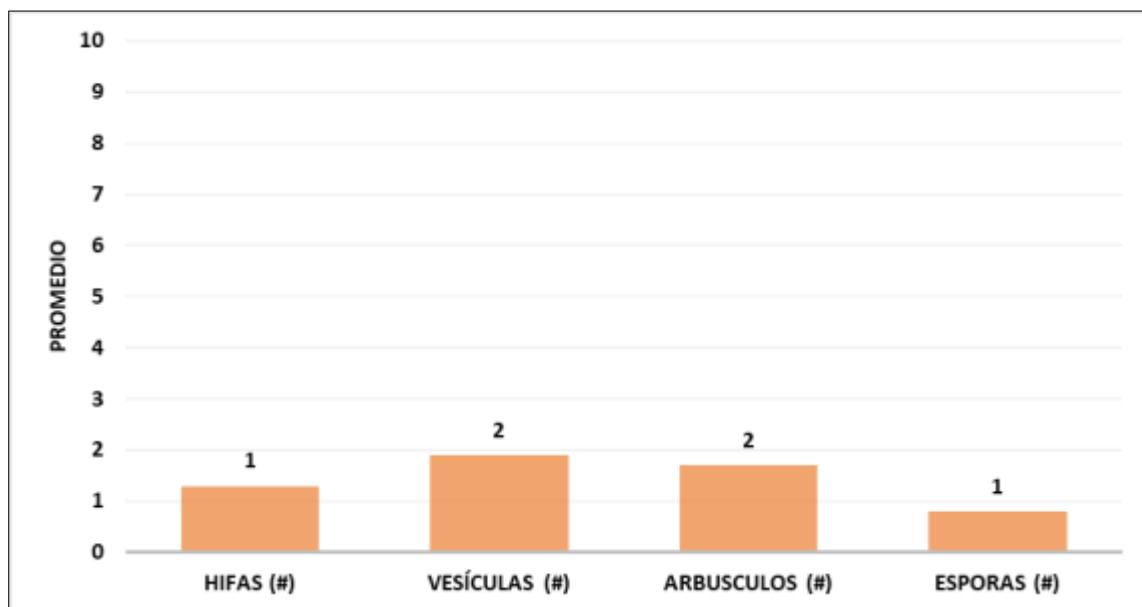
T - 1	HIFAS (#)	VESÍCULAS (#)	ARBUSCULOS (#)	ESPORAS (#)
R1	0	2	4	2
R2	1	2	0	0
R3	3	0	1	2
R4	1	1	0	0
R5	1	3	0	0
R6	0	0	2	1
R7	1	2	0	1
R8	3	3	0	2
R9	1	4	6	0
R10	2	2	4	0
PROMEDIO	1	2	2	1

La Tabla 12 muestra que el tratamiento con 3 g de micorrizas arbusculares nativas (T-1) presentó una colonización micorrízica inicial y de baja intensidad, evidenciada por la presencia de hifas, vesículas, arbúsculos y esporas en todas las repeticiones evaluadas, con promedios de 1 hifa, 2 vesículas, 2 arbúsculos y 1 espora por raíz observada. Estos resultados indican que la simbiosis micorrízica comenzó a establecerse, aunque de manera incipiente, lo que sugiere que una dosis baja de inóculo permite la formación de estructuras micorrízicas funcionales, pero con una intensidad limitada. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que la cantidad de inóculo aplicado influye directamente en el nivel de colonización radicular, siendo las dosis bajas suficientes para iniciar la asociación simbiótica, pero insuficientes para lograr una colonización amplia y sostenida. Asimismo, Arteaga et al. (2020) destacan que, en etapas iniciales, la presencia de arbúsculos y vesículas refleja un proceso temprano de intercambio nutricional entre hongo y planta, el cual se intensifica

conforme aumenta la disponibilidad de propágulos micorrízicos. En este contexto, los resultados del tratamiento T-1 confirman que la dosis de 3 g favorece el inicio de la micorrización en *Calycophyllum spruceanum*, aunque con una eficacia menor en comparación con tratamientos de mayor dosis, lo que explica las respuestas moderadas observadas posteriormente en las variables de crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Figura 11

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 1



La Figura 11 evidencia una colonización micorrízica inicial y de baja intensidad en el tratamiento T-1 (3 g), con promedios reducidos de hifas, vesículas, arbúsculos y esporas, lo que indica que la simbiosis comenzó a establecerse de forma incipiente. Este comportamiento concuerda con Ramírez et al. (2022), quienes señalan que dosis bajas de inóculo permiten iniciar la micorrización, aunque con una colonización limitada, lo que explica las respuestas moderadas observadas posteriormente en el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

Tabla 13

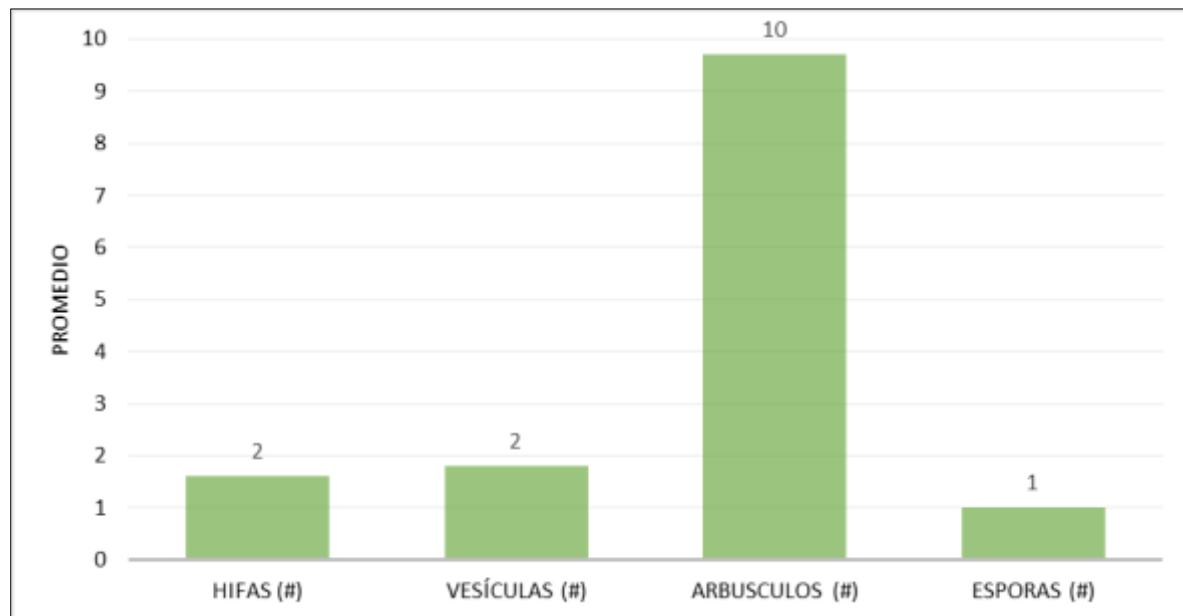
Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 2

T - 2	HIFAS (#)	VESÍCULAS (#)	ARBUSCULOS (#)	ESPORAS (#)
R1	1	2	12	1
R2	0	1	11	1
R3	3	3	10	0
R4	1	2	6	1
R5	2	0	9	1
R6	2	1	5	0
R7	2	2	7	0
R8	1	2	11	1
R9	1	4	13	2
R10	3	1	13	3
PROMEDIO	2	2	10	1

La Tabla 13 muestra que el tratamiento T-2 (6 g de micorrizas arbusculares nativas) presenta una colonización micorrízica claramente intensificada en comparación con T-1, evidenciada por el incremento en todos los componentes micorrízicos evaluados. El promedio de hifas (2) y vesículas (2) indica el establecimiento de una red micorrízica más activa tanto en el sustrato como en el interior de la raíz, mientras que el alto promedio de arbúsculos (10) constituye el rasgo más relevante, ya que estas estructuras representan el principal sitio de intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta, reflejando una simbiosis funcional y eficiente. El promedio de esporas (1) sugiere que el proceso reproductivo del hongo comienza a consolidarse, favoreciendo la persistencia del inóculo en el sistema radical. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que dosis intermedias de inóculo favorecen una colonización más estable y funcional, incrementando la absorción de nutrientes esenciales, particularmente fósforo. En conjunto, los resultados confirman que la dosis de 6 g permite una interacción simbiótica más eficiente y productiva, lo que explica las mejoras observadas en el crecimiento y desarrollo aéreo y radicular de *Calycophyllum spruceanum* en condiciones de vivero.

Figura 12

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 2



La Figura 12 evidencia que la dosis de 6 g de micorrizas arbusculares nativas (T-2) favoreció una colonización micorrízica funcional, destacando un alto promedio de arbúsculos (10), estructuras clave para el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta, lo que indica una simbiosis eficiente. La presencia moderada de hifas (2) y vesículas (2) refleja una red micorrízica activa y estable, mientras que la detección de esporas (1) sugiere el inicio de la reproducción del hongo y la fijación del inóculo en el sistema radical. Este comportamiento concuerda con Ramírez et al. (2022), quienes señalan que dosis intermedias de inóculo optimizan la funcionalidad de la simbiosis micorrízica, lo que explica las mejoras observadas en el crecimiento y desarrollo de *Calycophyllum spruceanum* en vivero.

Tabla 14

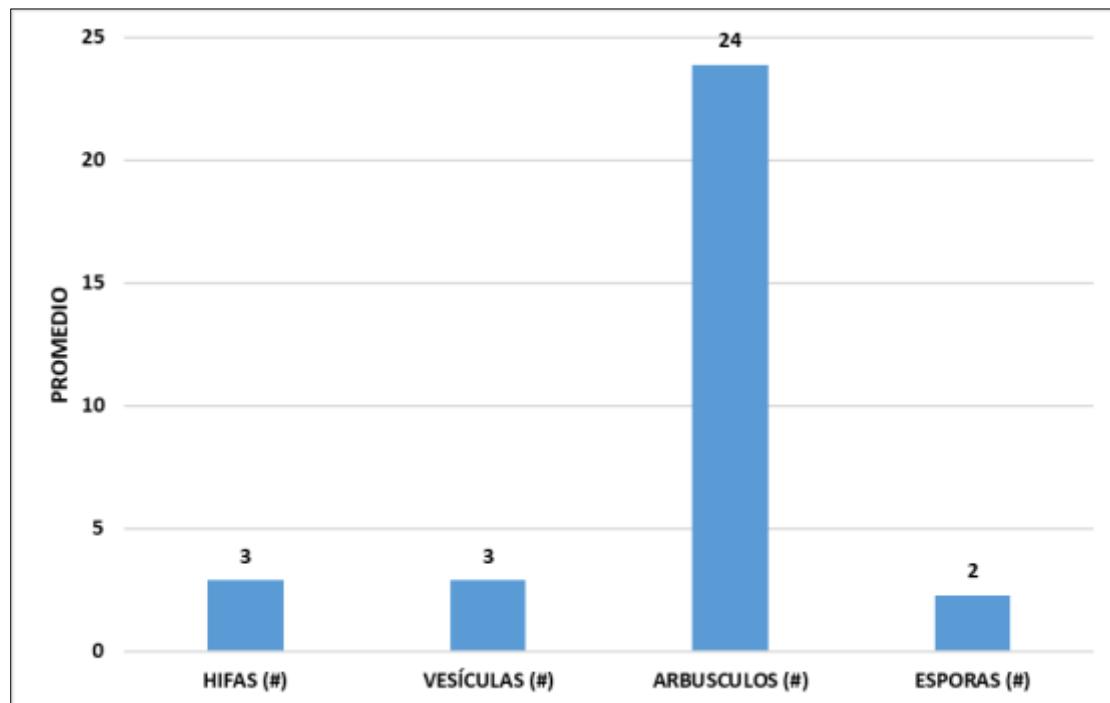
Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 3

T – 3	HIFAS (#)	VESÍCULAS (#)	ARBUSCULOS (#)	ESPORAS (#)
R1	3	5	26	4
R2	5	4	28	2
R3	3	4	24	2
R4	6	3	25	2
R5	2	2	24	3
R6	4	3	24	4
R7	0	3	19	0
R8	2	4	24	1
R9	3	1	21	2
R10	1	0	24	3
PROMEDIO	3	3	24	2

La Tabla 14 muestra que el tratamiento T-3 (10 g de micorrizas arbusculares nativas) generó la mayor colonización micorrízica de todos los tratamientos evaluados, evidenciada por el incremento sostenido de hifas (3) y vesículas (3), lo que indica una red micorrízica más densa y consolidada tanto en el sustrato como en el interior de la raíz. No obstante, el rasgo más relevante es el elevado promedio de arbúsculos (24), lo cual evidencia una simbiosis altamente activa y funcional, ya que estas estructuras son responsables directas del intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. Asimismo, el aumento en el promedio de esporas (2) sugiere un ciclo reproductivo más eficiente del hongo y una mayor capacidad del inóculo para mantenerse y persistir en el sistema radical a lo largo del tiempo. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que dosis elevadas de inóculo favorecen una colonización más intensa y estable, optimizando la absorción de nutrientes, especialmente fósforo, y fortaleciendo el desarrollo fisiológico de las plantas. En conjunto, los resultados confirman que la dosis de 10 g potencia al máximo la colonización micorrízica en *Calycophyllum spruceanum*, lo que explica las respuestas superiores observadas en el crecimiento, el desarrollo radicular y el vigor foliar de los plantones en vivero.

Figura 13

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas de la M – 3



La Figura 13 evidencia que la dosis de 10 g de micorrizas arbusculares nativas (T-3) permitió consolidar la mayor y más activa colonización micorrízica, reflejada en incrementos de hifas (3) y vesículas (3), lo que indica una red micorrízica densa y estable en la raíz y el sustrato. El alto promedio de arbúsculos (24) confirma una simbiosis altamente funcional, ya que estas estructuras representan el principal sitio de intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta, favoreciendo una mayor eficiencia fisiológica. Asimismo, la presencia de esporas (2) sugiere un ciclo reproductivo más sólido y la capacidad del inóculo para mantenerse en el tiempo. Este comportamiento concuerda con Ramírez et al. (2022), quienes señalan que dosis elevadas de inóculo intensifican la colonización micorrízica y optimizan la absorción de nutrientes, explicando las respuestas superiores observadas en el crecimiento y desarrollo de *Calycophyllum spruceanum* en vivero.

Tabla 15

Comparativo de campos colonizados de estructuras micorrícicas por tratamiento

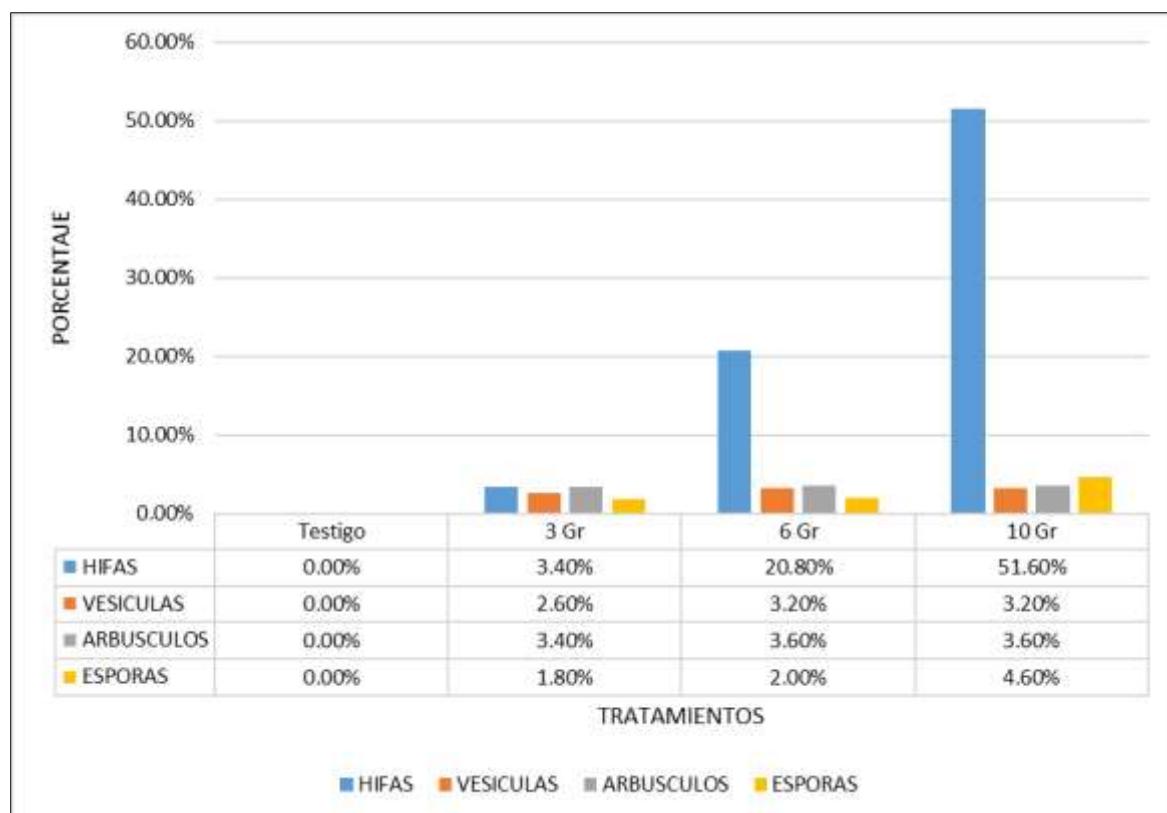
	HIFAS (#)		VESÍCULAS (#)		ARBUSCULOS (#)		ESPORAS (#)	
	Colonización	Campos colonizados	Colonización	Campos colonizados	Colonización	Campos colonizados	Colonización	Campos colonizados
T - 0	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
T - 1	1	3.40%	2	2.60%	2	3.40%	1	1.80%
T - 2	2	20.80%	2	3.20%	10	3.60%	1	2.00%
T - 3	3	51.60%	3	5.80%	24	5.80%	2	4.60%

La Tabla 15 evidencia un patrón progresivo y dosis-dependiente en la colonización micorrízica de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum*. El tratamiento testigo (T-0) no presentó hifas, vesículas, arbúsculos ni esporas, registrándose 0 % de campos colonizados y ausencia total de estructuras, lo que confirma la inexistencia de simbiosis micorrízica sin inoculación. En el tratamiento T-1, se evidenció un inicio del proceso de colonización, con la presencia promedio de 1 hifa, 2 vesículas, 2 arbúsculos y 1 espora, acompañados de bajos porcentajes de campos colonizados (entre 1,80 % y 3,40 %), lo que indica una colonización incipiente y de baja intensidad. Al incrementar la inoculación en T-2, se observó un aumento significativo en la cantidad promedio de estructuras, especialmente en arbúsculos (10) e hifas (2), así como un mayor porcentaje de campos colonizados, destacando las hifas con 20,80 %, lo que refleja una mayor actividad simbiótica y funcional en la relación hongo-planta. En el tratamiento T-3 presentó los valores más elevados tanto en el número promedio de estructuras micorrízicas como en el porcentaje de campos colonizados, con 3 hifas, 3 vesículas, 24 arbúsculos y 2 esporas, y porcentajes de colonización que alcanzaron hasta 51,60 % en hifas. Estos resultados evidencian una colonización micorrízica eficiente, estable y funcional, capaz de sostener el intercambio de nutrientes a lo largo del tiempo. Este comportamiento concuerda

con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que una mayor cantidad de inóculo incrementa la intensidad de la colonización micorrízica, y con Falcón et al. (2021), quienes destacan que una colonización más intensa se traduce en mejoras significativas en el crecimiento y calidad de plántulas forestales en vivero.

Figura 14

Comparativo de ampos colonizados de estructuras micorrízicas por tratamiento



La Figura 14 evidencia un patrón claramente dosis-dependiente en la colonización de estructuras micorrízicas en plántulas de *Calycophyllum spruceanum*. El tratamiento testigo (T-0) no presentó hifas, arbúsculos, vesículas ni esporas, confirmando la ausencia de simbiosis sin inoculación. Con 3 g (T-1) se observó una colonización incipiente, reflejada en valores bajos de todas las estructuras, lo que indica el inicio de la asociación micorrízica. Al incrementar la dosis a 6 g (T-2), la colonización se intensificó notablemente, especialmente en el número de arbúsculos, evidenciando una simbiosis más activa y funcional en el intercambio de nutrientes;

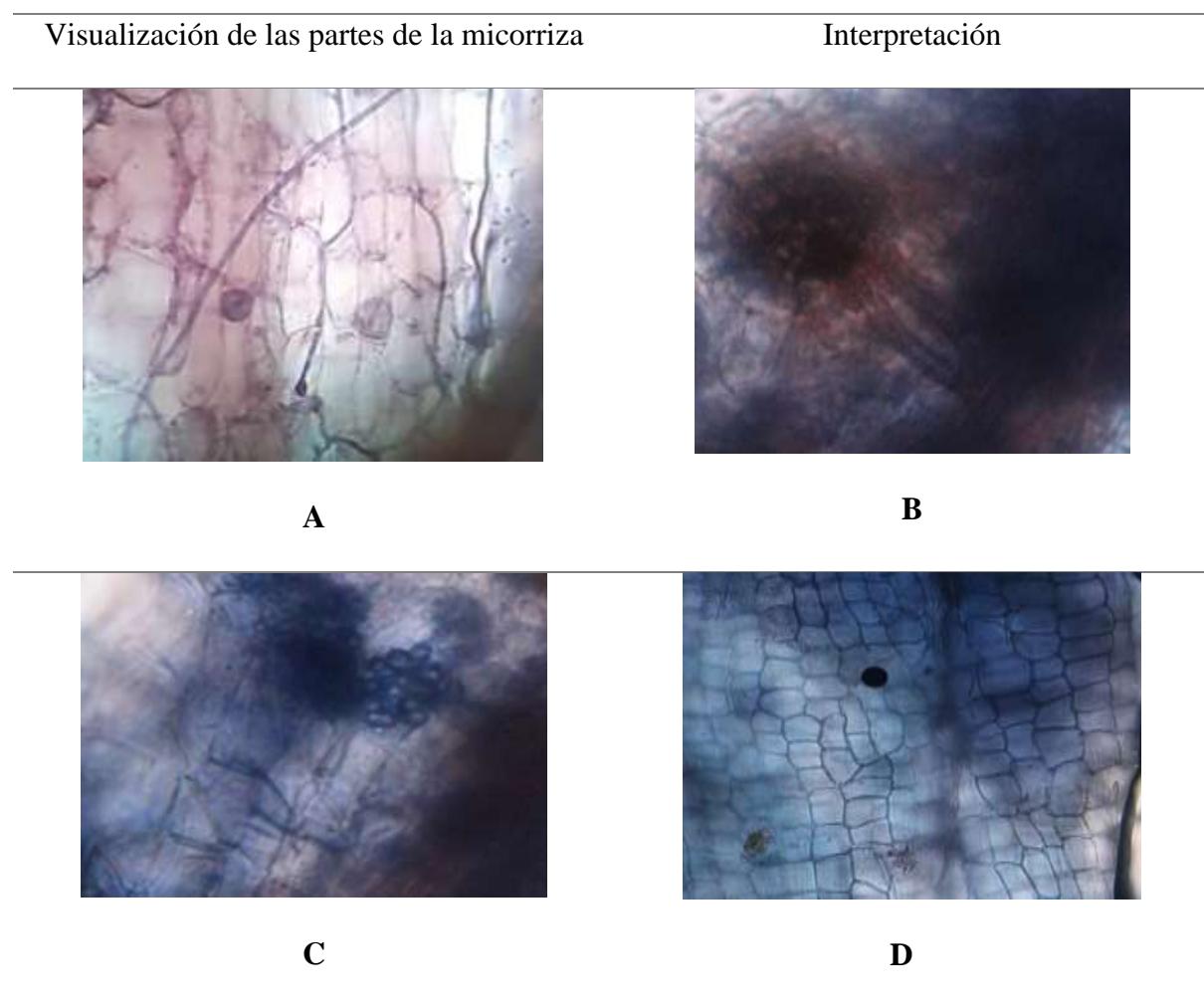
con 10 g (T-3) se alcanzaron los valores más altos en todas las estructuras micorrízicas, consolidando una colonización eficiente, estable y con mayor capacidad de persistencia. Este comportamiento concuerda con Ramírez et al. (2022), quienes señalan que mayores dosis de inóculo favorecen una colonización más intensa y funcional, explicando las mejoras observadas en el crecimiento y desarrollo de las plántulas en vivero.

4.5.3 Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en las raíces de

***Calycophyllum spruceanum* en el día 90**

Figura 15

Colonización de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en las raíces de *Calycophyllum spruceanum* en el día 90

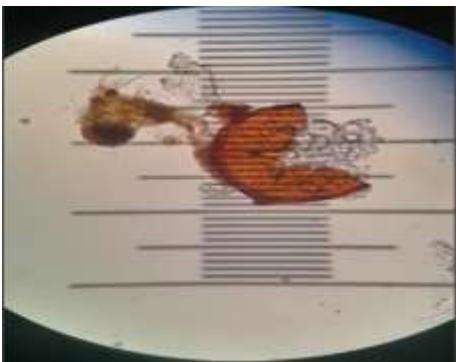


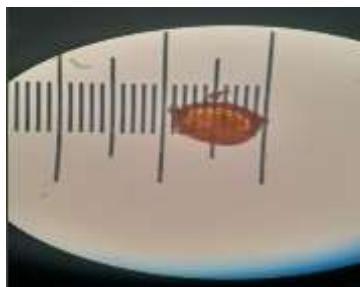
La Figura 15 corresponde al tratamiento T-3, el cual presentó el mayor nivel de colonización micorrízica en el presente estudio. En la imagen A se observan hifas y vesículas extendiéndose tanto en la superficie como en el interior de las raíces, lo que evidencia una colonización micorrízica activa y bien establecida. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Falcón et al. (2021), quienes señalan que una mayor densidad de hifas está asociada con un incremento en la absorción de nutrientes y en el vigor de las plántulas en condiciones de vivero. La imagen B muestra arbúsculos altamente ramificados localizados en las células corticales, estructuras consideradas el principal sitio de intercambio bidireccional de nutrientes entre el hongo y la planta. Según Ramírez et al. (2022), la abundancia de arbúsculos es un indicador de una simbiosis funcionalmente eficiente, especialmente en tratamientos con mayores niveles de inoculación. En la imagen C se identifican vesículas de forma ovalada y pared definida, cuya función como órganos de almacenamiento de reservas energéticas ha sido descrita por Según Ramírez et al. (2022), permitiendo la continuidad del hongo dentro del sistema radical. La imagen D evidencia esporas de pared engrosada en la rizosfera, lo que confirma la capacidad reproductiva del hongo micorrízico y su potencial de permanencia en el ecosistema, característica propia de una colonización micorrízica madura y estable.

Figura 16

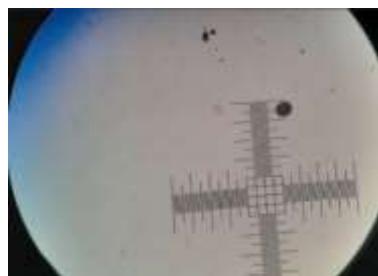
Identificación de género de micorrizas en el sustrato donde se tubo a los plantones de

Calycoiphyllum spruceanum

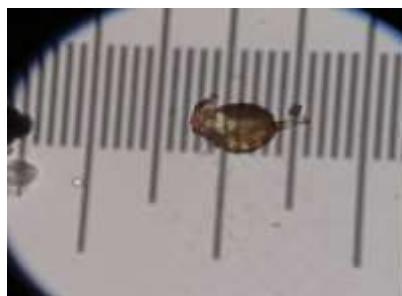
ESPORA	IDENTIFICACIÓN DE GÉNERO
	<p>La espora observada corresponde al género <i>Glomus</i>, con un tamaño aproximado de 150 µm y un claro vínculo a una hifa, lo que confirma su origen micorrízico arbuscular. Este tipo de estructuras, al estar presentes en el sustrato de producción de plantones de capirona (<i>Calycoiphyllum spruceanum</i>), son determinantes para el establecimiento de la simbiosis con las raíces. Dichas esporas favorecen la absorción de fósforo, agua y micronutrientes, además de incrementar la tolerancia de los plantones a condiciones de estrés propias del clima de Jaén.</p>



La espora observada presentó color marrón-rojizo, forma esférica, pared gruesa y superficie lisa, características propias del género *Glomus*, con un diámetro aproximado de 90–100 µm. Se evidenció una prolongación hifal que confirma su origen micorrízico arbuscular, mientras que arbúsculos y vesículas no se visualizaron por formarse dentro de la raíz.



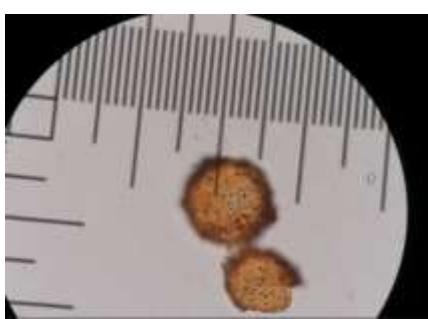
La espora observada presenta coloración oscura, forma globosa y pared definida, con un diámetro aproximado de 40–45 µm, lo que permite asociarla al género *Acaulospora*, reconocido por formar esporas globosas de paredes múltiples y superficie lisa. En este caso no se aprecia una conexión hifal clara, lo que concuerda con la característica del género de originarse lateralmente en hifas dilatadas.



La espora observada presenta una forma globosa, de color marrón y con pared relativamente gruesa, acompañada de un claro conector hifal lateral, lo que permite asociarla al género *Glomus*, característico por formar esporas terminales o intercaladas en las hifas. Su diámetro, estimado entre 85 y 95 µm, corresponde a un tamaño intermedio dentro de este grupo. La unión directa con la hifa madre confirma su origen micorrízico arbuscular, mientras que la ausencia de vesículas o arbúsculos es coherente, dado que estas estructuras se desarrollan únicamente dentro de la raíz.



La espora observada presenta una coloración marrón-rojiza, forma globosa y pared rugosa, rasgos que la diferencian de las esporas lisas de *Glomus*. Se distingue además un conector hifal lateral, lo que confirma su origen micorrízico arbuscular. Estas características son compatibles con el género *Acaulospora*, conocido por formar esporas ornamentadas en la pared y unidas lateralmente a las hifas portadoras. Su diámetro, de aproximadamente 100–120 µm, refuerza esta identificación.



Se observaron dos esporas globosas de *Acaulospora*, con coloración marrón-amarillenta, paredes multilaminadas y de textura rugosa. La espora superior midió entre 110–120 µm y la inferior entre 90–100 µm, lo que refleja variabilidad en tamaño y grado de maduración. Aunque no se distinguió con claridad la hifa conectora, estas características son propias de la formación lateral típica de este género. La presencia de esporas en distintos estados de desarrollo confirma un proceso activo de esporulación y alta viabilidad de la comunidad micorrízica.

La figura 16, evidencia la presencia de esporas micorrízicas pertenecientes principalmente a los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, identificadas a partir de características morfológicas como tamaño, forma, coloración, tipo de pared y relación con las hifas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Arteaga et al. (2020), quienes señalan que la identificación de hongos micorrízicos arbusculares en ecosistemas forestales se fundamenta en el análisis morfológico de las esporas, considerando criterios como el diámetro, la ornamentación de la pared y el tipo de conexión hifal. La presencia dominante de esporas del género *Glomus*, caracterizadas por su forma globosa, coloración marrón a marrón-rojiza, paredes gruesas y conectores hifales terminales o intercalados, es consistente con lo descrito por Arteaga et al. (2020), quienes indican que este género suele predominar en bosques naturales debido a su alta adaptabilidad ecológica y su eficiencia en la colonización radicular, especialmente en ambientes con condiciones edáficas variables. Esta característica resulta particularmente relevante considerando que las esporas fueron extraídas del Bosque de Huamantanga, un ecosistema forestal andino donde las micorrizas arbusculares cumplen un rol clave en la supervivencia y adaptación de las especies vegetales. Asimismo, la identificación de esporas del género *Acaulospora*, reconocibles por su formación lateral, paredes multilaminadas y, en algunos casos, superficie rugosa, concuerda con lo señalado por Arteaga et al. (2020), quienes destacan que este género es frecuente en suelos forestales poco perturbados y contribuye significativamente a la tolerancia de las plantas al estrés ambiental, especialmente en condiciones de limitación nutricional y climática, como las presentes en el Bosque de Huamantanga. La observación de esporas con distintos tamaños y grados de maduración refleja un proceso activo de esporulación, lo que, de acuerdo con Arteaga et al. (2020), constituye un indicador de viabilidad, estabilidad y funcionalidad de la comunidad micorrízica.

4.5.4 Evaluación del desarrollo de las plantas de capirona (*Calycophyllum spruceanum*)

Tabla 17

Desarrollo de plantones de *Calycophyllum spruceanum* a lo largo de 90 días

Intervalo de evaluación (días)	Tratamiento	Vigor general	Coloración foliar	Turgencia del tallo	Estado del sistema radical	Observación cualitativa del desarrollo
15	T0	Bajo	Verde pálido	Media	No evaluado	Plántulas con crecimiento inicial lento y escasa uniformidad.
	T1	Regular	Verde claro	Media	No evaluado	Inicio de adaptación, ligero incremento en vigor.
	T2	Bueno	Verde uniforme	Buena	No evaluado	Mejor respuesta fisiológica temprana.
	T3	Bueno	Verde intenso	Buena	No evaluado	Plántulas vigorosas desde etapas iniciales.
30	T0	Bajo	Verde amarillento	Media	No evaluado	Desarrollo limitado y diferencias marcadas entre plántulas.
	T1	Regular	Verde claro	Buena	No evaluado	Mejora moderada en vigor y estabilidad.
	T2	Bueno	Verde intenso	Buena	No evaluado	Desarrollo uniforme y aspecto saludable.
	T3	Muy bueno	Verde intenso	Alta	No evaluado	Plántulas con alta vitalidad y uniformidad.
45	T0	Bajo	Verde pálido	Media	No evaluado	Evidente retraso en desarrollo fisiológico.
	T1	Regular	Verde uniforme	Buena	No evaluado	Desarrollo aceptable, sin signos visibles de estrés.
	T2	Bueno	Verde intenso	Alta	No evaluado	Condición morfofisiológica favorable.
	T3	Muy bueno	Verde intenso brillante	Alta	No evaluado	Mayor vigor y estructura aérea robusta.
60	T0	Regular	Verde claro	Media	No evaluado	Ligeros avances, pero menor desempeño general.
	T1	Bueno	Verde intenso	Buena	No evaluado	Desarrollo progresivo y mayor estabilidad.
	T2	Muy bueno	Verde intenso	Alta	No evaluado	Plántulas sanas y bien conformadas.
	T3	Muy bueno	Verde intenso brillante	Alta	No evaluado	Desarrollo destacado frente a otros tratamientos.
75	T0	Regular	Verde claro	Media	No evaluado	Persisten diferencias visibles frente a tratamientos inoculados.
	T1	Bueno	Verde intenso	Buena	No evaluado	Condición fisiológica estable.
	T2	Muy bueno	Verde intenso	Alta	No evaluado	Desarrollo integral equilibrado.
	T3	Excelente	Verde intenso brillante	Óptima	No evaluado	Plántulas vigorosas y homogéneas.
90	T0	Regular	Verde pálido	Media	Poco desarrollado	Sistema radical escaso y menor vigor general.
	T1	Bueno	Verde uniforme	Buena	Moderadamente desarrollado	Mejora en raíces respecto al control.
	T2	Muy bueno	Verde intenso	Alta	Bien desarrollado y ramificado	Buen desarrollo integral aéreo–radicular.
	T3	Excelente	Verde intenso brillante	Óptima	Abundante, bien ramificado y vigoroso	Mejor calidad morfofisiológica de plántulas.

La tabla 17, muestra la evaluación cualitativa del desarrollo de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* durante los 90 días de vivero evidenció diferencias claras y progresivas entre los tratamientos, asociadas a la dosis de micorrizas arbusculares nativas aplicada. Estas diferencias se manifestaron en el vigor general, la coloración foliar, la turgencia del tallo y, al finalizar el experimento, en el estado del sistema radical, permitiendo interpretar un efecto positivo de la inoculación micorrízica sobre el desarrollo integral de las plántulas.

Durante los primeros intervalos de evaluación (15 y 30 días), los tratamientos inoculados (T1, T2 y T3) presentaron una respuesta fisiológica más favorable en comparación con el tratamiento control (T0), reflejada en una coloración foliar más intensa (verde claro a verde uniforme) y un vigor general superior. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Ramírez et al. (2022), quienes indican que una mayor cantidad de inóculo incrementa la intensidad de la colonización micorrízica, favoreciendo una respuesta temprana en el desarrollo de las plántulas. En contraste, el tratamiento control mostró tonalidades verde pálido y verde amarillento, lo que evidencia una menor eficiencia fisiológica y un desarrollo inicial limitado.

A partir de los 45 y 60 días, las diferencias entre tratamientos se hicieron más evidentes, especialmente en los tratamientos con dosis media y alta de micorrizas (T2 y T3), los cuales alcanzaron categorías de “muy buen” vigor, con coloración verde intenso y alta turgencia del tallo. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Falcón et al. (2021), quienes destacan que una colonización micorrízica más intensa se traduce en mejoras significativas en el crecimiento y la calidad morfofisiológica de plántulas forestales producidas en vivero, al optimizar la absorción de agua y nutrientes y fortalecer la estructura aérea de las plantas.

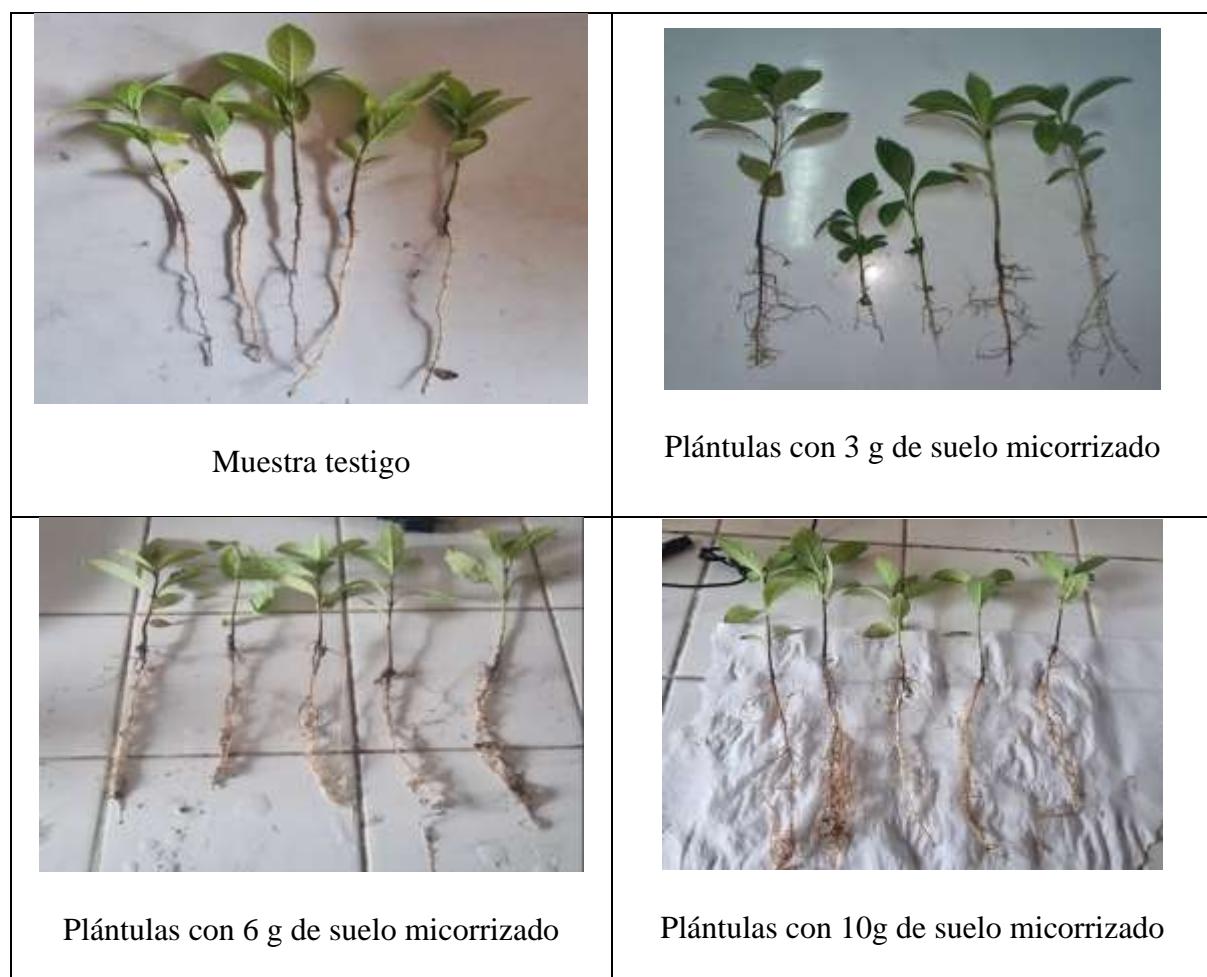
En los intervalos finales (75 y 90 días), el tratamiento T3 destacó por presentar plántulas con vigor excelente, coloración verde intenso brillante y un sistema radical abundante y bien ramificado, evidenciando un desarrollo integral superior. Este comportamiento refuerza lo señalado por Ramírez et al. (2022) y Falcón et al. (2021), quienes coinciden en que una mayor

intensidad de colonización micorrízica no solo mejora el crecimiento, sino también la calidad del sistema radical, aspecto clave para la adaptación y supervivencia de las plántulas en etapas posteriores al trasplante.

En conjunto, los resultados cualitativos obtenidos confirman que el incremento en la dosis de micorizas arbusculares nativas favorece el desarrollo morfofisiológico de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* durante la fase de vivero, concordando con los antecedentes reportados por Ramírez et al. (2022) y Falcón et al. (2021), y respaldando el uso de esta práctica como una estrategia eficiente y sostenible en la producción de plantones forestales de calidad.

Figura 16

Comparativa de crecimiento y desarrollo de los plantones de las muestras (T0, T1, T2, T3)



Los resultados cualitativos observados en la Figura 17 evidencian que, durante la fase de vivero, el desarrollo de las plántulas de *Calycophyllum spruceanum* no presentó cambios morfológicos bruscos ni alteraciones visibles extremas entre tratamientos, manteniéndose en general una coloración foliar verde normal y un estado fisiológico aparentemente saludable. Este comportamiento coincide con lo señalado por diversos autores, quienes indican que los efectos de la micorrización no siempre se manifiestan inicialmente en cambios aéreos evidentes, sino que se expresan de manera progresiva, principalmente a nivel del sistema radical. Aunque el tratamiento testigo (T-0) mostró un crecimiento en altura comparable en ciertos momentos al tratamiento T-3 (10 g), la evaluación del sistema radical reveló diferencias sustanciales. La ausencia de micorrizas en el testigo se tradujo en un escaso desarrollo radicular, lo que limita la capacidad de absorción de agua y nutrientes, condición que puede no reflejarse de inmediato en la parte aérea, pero que compromete el desempeño posterior de las plántulas tras el trasplante. Este comportamiento ha sido descrito por Abanto et al. (2016), quienes señalan que las micorrizas arbusculares influyen de manera más temprana y decisiva en el crecimiento subterráneo que en la biomasa aérea. El tratamiento T-1 (3 g) presentó un crecimiento lento tanto en altura como en desarrollo radicular, lo que sugiere que una dosis baja de inóculo no fue suficiente para establecer una simbiosis micorrízica funcional y estable. En contraste, los tratamientos T-2 (6 g) y T-3 (10 g) evidenciaron un desarrollo radicular denso y bien estructurado, lo que explica su mejor desempeño general. De acuerdo con Arteaga et al. (2020), una mayor disponibilidad de propágulos micorrízicos favorece la colonización efectiva de las raíces, incrementando la eficiencia en la absorción de fósforo y otros nutrientes esenciales, aun cuando las diferencias en la parte aérea no sean marcadamente visibles en las primeras etapas. El crecimiento medio-alto observado en T-2, cercano al alcanzado por T-3, sugiere que existe un umbral óptimo de inoculación a partir del cual los beneficios micorrízicos se estabilizan. Sin embargo, el mayor desarrollo integral y, especialmente, radicular del

tratamiento T-3, confirma que dosis más elevadas promueven una simbiosis más eficiente y funcional. En conjunto, estos resultados refuerzan que la inoculación con micorrizas arbusculares nativas mejora principalmente la calidad fisiológica y estructural de las plántulas de capirona, más allá del crecimiento en altura, aspecto determinante para su supervivencia y establecimiento en campo.

Tabla 18.

Evaluación radicular del plantón de *Calycophyllum spruceanum* a los 90 días

Tratamiento	Condición del sistema radicular	Abundancia de raíces	Longitud de raíces	Calidad radicular	Implicancia para el trasplante
T0 (Sin inoculación)	Raíces poco desarrolladas	Baja	Corta	Débil	Mayor riesgo de estrés y baja adaptación en campo
T1 (Dosis baja)	Desarrollo radicular limitado	Baja a media	Media	Regular	Establecimiento lento y menor eficiencia de absorción
T2 (Dosis media)	Sistema radicular bien desarrollado	Alta	Larga	Buena	Alta capacidad de absorción; requiere control del equilibrio raíz–parte aérea
T3 (Dosis alta)	Sistema radicular abundante y vigoroso	Muy alta	Muy larga	Muy buena	Excelente potencial de establecimiento; posible poda de raíz para optimizar el trasplante

La evaluación del sistema radicular evidencia diferencias claras entre los tratamientos.

Los plantones correspondientes a los tratamientos T0 (sin inoculación) y T1 (dosis baja) presentaron raíces poco desarrolladas, con baja abundancia y menor longitud, lo que refleja una limitada capacidad de exploración del sustrato. Esta condición se asocia con una menor eficiencia en la absorción de agua y nutrientes, incrementando el riesgo de estrés hídrico y baja supervivencia durante el trasplante.

En contraste, los tratamientos T2 (dosis media) y T3 (dosis alta) mostraron sistemas radiculares más abundantes, largos y vigorosos, indicando un mejor desarrollo funcional de la raíz. Este comportamiento sugiere una mayor capacidad de absorción y anclaje, factores clave para el

establecimiento exitoso del plantón en campo. No obstante, en estos tratamientos se observó un mayor volumen radicular, lo que puede generar un desequilibrio temporal entre la raíz y la parte aérea si no se maneja adecuadamente durante el trasplante.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Pérez et al. (2020), quienes indican que la inoculación con micorrizas arbusculares favorece el incremento de la biomasa radicular y la longitud de raíces, mejorando la eficiencia nutricional de las plantas forestales. De manera similar, De la Providencia et al. (2021) explican que el micelio extrarradical amplía la zona de exploración del suelo, promoviendo el desarrollo de raíces funcionales y más activas fisiológicamente.

Asimismo, Rivera-Cruz et al. (2023) destacan que un sistema radicular abundante mejora la tolerancia al estrés post-trasplante; sin embargo, advierten que un crecimiento excesivo de raíces puede generar desbalances morfofisiológicos, los cuales pueden ser corregidos mediante prácticas silvícolas como la poda de raíz. En este sentido, Panduro (2014) señala que la poda radicular en vivero no reduce la calidad del plantón, sino que contribuye a restablecer el equilibrio raíz-parte aérea, favoreciendo una mejor adaptación en campo.

Por lo que los resultados confirman que los tratamientos T2 y T3 generan plantones de mayor calidad radicular. Lejos de ser una desventaja, la mayor abundancia de raíces representa una ventaja silvícola siempre que se aplique un manejo adecuado previo al trasplante, reafirmando que la micorrización es una práctica clave para la producción de plantones forestales de alto desempeño.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las semillas de *Calycophyllum spruceanum* empleadas en la investigación presentaron una adecuada viabilidad fisiológica, evidenciada por un porcentaje de germinación del 60 %, lo que permitió obtener plántulas sanas y homogéneas para el desarrollo del experimento. Esta condición garantizó una base uniforme para evaluar el efecto de la inoculación micorrízica y redujo la variabilidad en las etapas iniciales del estudio.

Las micorrasas arbusculares nativas aisladas de suelos forestales demostraron ser viables y funcionales, confirmándose su presencia mediante observación microscópica. El uso de inóculo nativo aseguró una mayor compatibilidad con *Calycophyllum spruceanum*, favoreciendo el establecimiento de la simbiosis micorrízica en condiciones controladas de vivero.

El método de inoculación mediante inmersión o remojo radicular durante 2 horas resultó eficaz para la adherencia de las esporas a las raíces, permitiendo una colonización temprana del sistema radical. La presencia de hifas, arbúsculos, vesículas y esporas en las plántulas inoculadas confirmó la efectividad de esta técnica para la micorrización artificial.

La colonización micorrízica mostró un comportamiento progresivo y dosis-dependiente, siendo nula en el tratamiento testigo y aumentando conforme se incrementó la dosis de inóculo. La dosis de 10 g presentó la mayor intensidad de colonización, especialmente en la formación de arbúsculos, evidenciando una simbiosis altamente funcional.

La inoculación con micorrasas arbusculares nativas mejoró significativamente el crecimiento y desarrollo integral de las plántulas, reflejado en mayores valores de altura, diámetro, número de hojas, supervivencia y desarrollo radicular, destacando las dosis de 6 g y 10 g como las más efectivas para la producción de plantones de calidad en vivero.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a la Universidad Nacional de Cajamarca fortalecer e institucionalizar el uso de micorrizas arbusculares nativas en los programas de investigación y producción de plantones forestales, incorporando esta tecnología en los viveros universitarios y en proyectos de reforestación, con el fin de mejorar la calidad de los plantones y promover prácticas sostenibles acordes con las condiciones ecológicas de la región.

Se sugiere a los futuros tesistas profundizar en estudios relacionados con la inoculación micorrízica en *Calycophyllum spruceanum* y otras especies forestales, evaluando diferentes tiempos de inoculación, combinaciones con fertilización orgánica y el comportamiento de las plántulas en campo, a fin de ampliar el conocimiento sobre la persistencia y efectividad de la simbiosis micorrízica.

Se recomienda a los estudiantes de carreras forestales y ambientales fortalecer su formación práctica en el manejo de micorrizas arbusculares nativas y técnicas de vivero, promoviendo su aplicación en trabajos académicos, prácticas preprofesionales y proyectos de investigación orientados a la conservación y restauración de ecosistemas.

Se recomienda a la población local, especialmente a productores y comunidades involucradas en actividades de reforestación, adoptar el uso de micorrizas arbusculares nativas en la producción de plantones forestales, como una alternativa ecológica que contribuye a mejorar el crecimiento, la supervivencia y el establecimiento de las plantas en campo, favoreciendo la recuperación de áreas degradadas.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, C.; García, D.; Guerra, W.; Murga, H.; Saldaña, G.; Vásquez, D.; Tadashi, R. (2016). Sustratos orgánicos en la producción de plantas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.). Nota científica. *Scientia Agropecuaria* 7 (3) 341-347. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ciencias Agropecuarias
- Arteaga Cuba, M. N., Tafur Santillán, S. M., Pérez Hurtado, G., Pastor Ordinola, S. A., & Batista 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.
<https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/653>
- Attalea. (2024). Capirona: alternativa promisoria para desarrollar la silvicultura familiar. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.
<https://attalea.iiap.gob.pe/2024/06/01/capirona-alternativa-promisora-para-desarrollar-la-silvicultura-familiar/>
- Becerra Fonseca, L. (2022). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el crecimiento y producción del tomate (*Lycopersicum esculentum* L.). Recuperado de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2727>
- De la Providencia, I. E., García, I. M., & Varela, L. (2021). Las micorrizas arbusculares y su importancia en la nutrición vegetal. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 25–36.
<https://doi.org/10.29404/rca.v9i1.274>
- Fernández, F., Pérez, J., & Martínez, J. (2024). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculum from degraded forest soils promotes seedling growth of a keystone mountain tree used for

restoration. Forest Ecology and Management, 572, 122327.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122327>

Fernández, L., & López, M. (2021). Aplicaciones de hongos micorrízicos en la producción de plantones forestales. Revista Forestal Latinoamericana, 14(2), 85-94.

<https://doi.org/10.2345/rfl.v14i2.5678>

Flores. (2021). Identificación y caracterización morfológica de la población de micorizas arbusculares, en función al estado de desarrollo del *Retrophyllum Rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page en el bosque de Huamantanga, Jaén – Perú. [Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca].

Flores-Mendoza, A., Torres, C., & Ledesma, J. (2022). Crecimiento y desarrollo de *Calycophyllum spruceanum* en bosques amazónicos. Revista Peruana de Ecología Forestal, 15(1), 34-45. <https://doi.org/10.1234/rpef.v15i1.9876>

Falcón, M. C. (2021). Calidad de plántulas de *Swietenia mahagoni* L. Jacq. producida en sustratos inoculados con hongo micorrízico arbuscular. Revista de Ciencias Ambientales, 15.

<https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/15629>

García, L., & Morales, F. (2023). Manejo silvicultural y control fitosanitario en plantaciones amazónicas. Revista Forestal Amazónica, 17(2), 89-98.

<https://doi.org/10.2345/rfa.v17i2.1345>

Gómez, L., Pérez, M., & Herrera, R. (2024). Impacto de la inoculación con micorizas arbusculares en el rendimiento y calidad del cacao en zonas tropicales. Revista Agrícola Tropical, 45(1), 67-78. <https://doi.org/10.1234/rat.v45i1.5678>

Gonzales-Ruiz, M., Castillo, P., & Fernández, J. (2021). Caracterización morfológica y reproductiva de *Calycophyllum spruceanum* en la Amazonía peruana. *Journal of Tropical Botany*, 10(2), 100-110. <https://doi.org/10.5678/jtb.2021.10.2.100>

Gonzales-Ruiz, M., Castillo, P., & Fernández, J. (2021). Caracterización morfológica y reproductiva de *Calycophyllum spruceanum* en la Amazonía peruana. *Journal of Tropical Botany*, 10(2), 100-110. <https://doi.org/10.5678/jtb.2021.10.2.100>

González, R., Martínez, A., & Ruiz, S. (2024). Beneficios de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en especies amazónicas. *Ecología y Bosques Tropicales*, 11(1), 20-29. <https://doi.org/10.4321/ebt.2024.11.1.20>

Guachanamá-Sánchez, J., Granda-Mora, I., Robles-Carrión, Á., Encalada-Córdova, M., Loján-Armijos, P., Avila-Salem, M., Hurtado-Trejo, L., Poma-Lópe, N., Collahuazo-Reinoso, Y., Araujo-Abad, S., Quichimbo-Saraguro, L., & Urgiles-Gómez, N. (2024). Caracterización morfológica de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) asociados al café en sistemas agroforestales de la provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 11(2), 1–11. <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.7178>

Gutiérrez Arancibia, G. G. (2019). Tipos y niveles de inóculos de micorrizas en la producción de dos especies de pinos en tubetes, Vivero Forestal Huamanga 2761 msnm, Ayacucho [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UN SCH/4655>

Kadu, C. A., Kinyua, M. G., & Gikonyo, N. K. (2023). Effect of indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi on growth and phytochemical content of vegetatively propagated *Prunus africana* (Hook. f.) Kalkman provenances. *Plants*, 9(1), 37. <https://doi.org/10.3390/plants9010037>

López, R., Mendoza, S., & Vargas, A. (2024). Técnicas silviculturales para la mejora de plantaciones en bosques tropicales. *Forest Research Journal*, 22(1), 45-56.
<https://doi.org/10.1126/frj.2024.22.1.45>

Melgarejo, R. (2021). Producción de plantones de Pino (*Pinus radiata*) con cuatro tipos de micorrización en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Ancash. [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua].

Martínez, D., & Pérez, F. (2023). Micorrizas arbusculares y su papel en el crecimiento vegetal. *Boletín de Ciencias Forestales*, 19(3), 40-50. <https://doi.org/10.2345/bcf.v19i3.7890>

Martínez, D., López, F., & Rivas, M. (2023). Análisis del fruto y semilla de *Calycophyllum spruceanum* para su propagación en vivero. *Boletín de Ciencias Forestales*, 18(1), 22-31. <https://doi.org/10.2345/bcf.v18i1.1123>

Mendoza, R., Quispe, L., & Vargas, S. (2021). Usos tradicionales y potencial medicinal de *Calycophyllum spruceanum*. *Etnobotánica Andina*, 8(3), 45-54.
<https://doi.org/10.7890/etnobotan.2021.8.3.45>

Panduro Chung, R. G. (2024). Caracterización ecológica de la especie *Calycophyllum spruceanum* “capirona” en tres localidades de Maynas, Loreto, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio UNAP.
<https://hdl.handle.net/20.500.12737/10394>

Pérez, J., Ramírez, C., & Torres, M. (2022). Labor silvicultural para especies nativas amazónicas: Caso de *Calycophyllum spruceanum*. *Revista Forestal Peruana*, 19(3), 70-82. <https://doi.org/10.2345/rfp.v19i3.1234>

- Quispe, A., Huaman, S., & Rivera, E. (2023). Importancia ecológica y comercial de *Calycophyllum spruceanum* en la Amazonía peruana. *Bosques y Desarrollo Sostenible*, 20(4), 120-132. <https://doi.org/10.4321/bds.2023.20.4.120>
- Ramiréz, M. M., Rolon, A. M., & Serralde, U. A. (2021). Biofertilización con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) en especies forestales en vivero. SciELO Analytics, 2, 10. Obtenido de
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612018000200015
- Rengifo Gonzales, L. (2011). Efecto de sustratos con micorrizas arbusculares en el crecimiento inicial de cuatro especies forestales en fase de vivero, Tarapoto [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio UNALM.
<https://hdl.handle.net/20.500.14292/561>
- Rivillas Osorio, C. A. (2020). Micorrizas arbusculares (3 ed., Vol. 3). Obtenido de
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4223/1/Cap03.pdf>
- Ríos Torres, K. (2023). Aspectos ambientales, sociales y económicos del uso de *Calycophyllum spruceanum* “capirona” en cuatro comunidades de la amazonía baja, Loreto, Perú, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio UNAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9429>
- Rivera-Cruz, J. A., Morales, S. F., & Salinas, P. (2023). Beneficios de las micorrizas arbusculares en la absorción de nutrientes y desarrollo vegetal. *Revista Latinoamericana de Botánica*, 38(2), 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.rlbot.2023.02.004>
- Rodríguez, M., Sánchez, J., & Torres, P. (2022). Simbiosis micorrízica y su impacto en la nutrición de plantas forestales. *Revista de Biología Tropical*, 18(2), 75-86.
<https://doi.org/10.1234/rbt.v18i2.6789>

Saldaña, C. L., Cancan, J. D., Cruz, W., Correa, M. Y., Ramos, M., Cuellar, E., & Arbizu, C. I. (2021). Genetic diversity and population structure of Capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) from the Peruvian Amazon revealed by RAPD markers. *Forests*, 12(8), 1125. <https://doi.org/10.3390/f12081125>

Sánchez Santillán, T., Altamirano Tantalean, M. A., Huaman Vela, M. H., Guelac Santillan, M., Rojas, K. C., & Morales Rojas, E. (2023). Efecto de micorrizas arbusculares y abonos orgánicos en el comportamiento vegetativo de *Cinchona officinalis* en ambientes controlados. *Revista Científica Pakamuros*, 10(3).

<https://doi.org/10.37787/7mm9e095>

Sánchez-Vargas, M., Ortiz, R., & León, F. (2024). Aplicación de *Calycophyllum spruceanum* en proyectos de restauración ecológica en la Amazonía. *Revista Latinoamericana de Restauración Ecológica*, 12(1), 50-61. <https://doi.org/10.4067/rle.2024.12.1.50>

Sánchez-Vargas, M., Ortiz, R., & León, F. (2024). Aplicación de *Calycophyllum spruceanum* en proyectos de restauración ecológica en la Amazonía. *Revista Latinoamericana de Restauración Ecológica*, 12(1), 50-61. <https://doi.org/10.4067/rle.2024.12.1.50>

Silva, L. F., Oliveira, A. S., & Souza, F. A. (2022). Inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi improves growth and photosynthesis of *Ilex paraguariensis* (St. Hil) seedlings. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65, e2210333. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210333>

Torres, V., & Martínez, E. (2022). Tolerancia al estrés abiótico mediada por micorrizas arbusculares en plantas agrícolas. *Ecología y Desarrollo*, 29(3), 112-121.

<https://doi.org/10.1007/s11284-022-02043-8>

Vallejos-Torres, G., Toledo Gonzales-Polar, L. E., & Arévalo-López, L. A. (2021). Enraizamiento de brotes de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex

Schum.), en la amazonía peruana. Revista Forestal Mesoamericana Kurú.

<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/1778>

Wu, Y., Chen, C., & Wang, G. (2024). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves plant biomass and nitrogen and phosphorus nutrients: a meta-analysis. *BMC Plant Biology*, 24, 960. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05638-9>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de Medición
Independiente					
Micorrizas arbusculares nativas	Son hongos del filo <i>Glomeromycota</i> que forman asociaciones simbióticas con raíces de plantas, mejorando la absorción de nutrientes y agua. Las cepas nativas provienen del mismo ecosistema, adaptadas a las condiciones locales, lo que favorece una simbiosis más eficiente (Rodríguez et al., 2022; González et al., 2024).	Aplicación de esporas o raíces colonizadas con hongos micorrízicos nativos al sustrato de plantones de capirona.	Inoculación	Presencia o ausencia de esporas e hifas	Nominal
Plantones de capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	Son plántulas de una especie arbórea amazónica de rápido crecimiento, utilizadas en programas de reforestación. Su desarrollo puede evaluarse mediante indicadores como altura, diámetro, biomasa y supervivencia (Quispe et al., 2023; Sánchez-Vargas et al., 2024).	Colonización radicular	% de raíces colonizadas por hifas, vesículas o arbúsculos	Cuantitativa continua	
Dependiente					
Plantones de capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>)	Respuesta en crecimiento y desarrollo de <i>Calycophyllum spruceanum</i> frente a la inoculación micorrízica.	Crecimiento vegetativo	Altura de plantón (cm)	Cuantitativa continua	
			Diámetro del tallo (mm)	Cuantitativa continua	
			Número de hojas	Cuantitativa continua	
			Biomasa aérea	Peso seco de hojas y tallo (g)	
		Biomasa radicular	Peso seco de raíces (g)	Cuantitativa continua	
			Supervivencia	Número de plantones vivos	Cuantitativa discreta

Anexo 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cuál es el efecto de la inoculación de micorrizas arbusculares nativas en la producción de plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i> , en la región de Jaén, Perú?	<p>GENERAL Evaluar el efecto de la inoculación de micorrizas arbusculares nativas en la producción de plantones de <i>Calycophyllum spruceanum</i>, en la región de Jaén, Perú</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> Obtener semillas de (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth) Hook ex Schumann), seleccionadas, para la producción de plantones en vivero. Verificar y aislar esporas de micorrizas arbusculares nativas de suelos forestales Determinar la forma de inoculación de las micorrizas arbusculares nativas en las semillas de (<i>Calycophyllum spruceanum</i>). Determinar la presencia de las micorrizas arbusculares nativas en las raíces de (<i>Calycophyllum spruceanum</i>) después de la inoculación Determinar el crecimiento y desarrollo de las plántulas de (<i>Calycophyllum spruceanum</i>) inoculadas con micorrizas arbusculares a nivel de vivero 	<p>La aplicación del inoculante de las micorrizas arbusculares nativas en plantones de capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>) en la etapa de vivero, tienen efecto en el incremento en la altura, diámetro, longitud radical en un 80% en comparación con el testigo.</p>	<p>INDEPENDIENTE Micorrizas arbusculares nativas.</p> <p>DEPENDIENTE Plantones de capirona (<i>Calycophyllum spruceanum</i>).</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN La investigación será de tipo y diseño experimental – cuantitativa.</p> <p>DISEÑO: Se utilizará el Diseño Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA), con 4 tratamientos, distribuidos en 4 bloques, con 16 unidades experimentales; se utilizarán 12 plantones por cada unidad experimental, haciendo un total de 198 plantones.</p> <p>TRATAMIENTOS 85% de tierra agrícola + 15% de arena + (T0), 83% de tierra agrícola + 15% de arena y 2% de micorrizas arbusculares nativas (T1), 82% de tierra agrícola + 15% de arena y 3% de micorrizas arbusculares nativas (T2), 82% de tierra agrícola + 15% de arena y 4% de micorrizas arbusculares nativas (T3), 81% de tierra agrícola + 15% de arena y 4% de micorrizas arbusculares nativas (T4). 1</p> <p>Modelo matemático: Modelo estadístico (SPSS)</p>

Anexo 3. Boleta de compra de 100 g de semilla capirona (*Calycophyllum spruceanum*)

"COMERCIALIZADORA DE SEMILLAS FORESTALES GMULA" E.I.R.L. P.Q. RAMON CASTILLA 1 PQR RAMON CASTILLA 1 RUPA-RUPA - LEONCIO PRADO - HUANUCO		BOLETA DE VENTA ELECTRONICA RUC: 20529075511 EB01-78				
Fecha de Vencimiento	:					
Fecha de Emisión	:	06/06/2023				
Señor(es)	:	BLANCA KATHERINE OROZCO				
DNI	:	SANTACRUZ 76322875				
Tipo de Moneda	:	SOLES				
Observación	:					
Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario(*)	Descuento(**)	Importe de Venta(***)	ICBPER
0.10	KILOGRAMO	SEMINA DE CAPIRONA	350.00	0.00	35.00	0.00
Otros Cargos : S/ 0.00 Otros Tributos : S/ 0.00 ICBPER : S/ 0.00 Importe Total : S/ 35.00						
SON: TREINTA Y CINCO Y 00/100 SOLES						
(*) Sin Impuestos. (**) Incluye Impuestos, de ser Op. Gravada.						
Op. Gravada : S/ 0.00 Op. Exonerada : S/ 35.00 Op. Inafecta : S/ 0.00 ISC : S/ 0.00 IGV : S/ 0.00 ICBPER : S/ 0.00 Otros Cargos : S/ 0.00 Otros Tributos : S/ 0.00 Monto de Redondeo : S/ 0.00 Importe Total : S/ 35.00						
<i>Esta es una representación impresa de la Boleta de Venta Electrónica, generada en el Sistema de la SUNAT. El Emisor Electrónico puede verificarla utilizando su clave SOL, el Adquirente o Usuario puede consultar su validez en SUNAT Virtual: www.sunat.gob.pe, en Opciones sin Clave SOL/ Consulta de Validez del CPE.</i>						



COMERCIALIZADORA DE SEMILLAS
FORESTALES **GMULA** E.I.R.L.

FICHA TÉCNICA DE LA ESPECIE “CAPIRONA”

Calycophyllum spruceanum

CAPIRONA

- **FMILIA:** Rubiaceae
- **NOMBRES COMUNES:** Capirona, Huamansamana
- **DISTRIBUCIÓN:** Bosques húmedos de la Amazonía (Peru, Brasil, Colombia y Bolivia)
- **DESCRIPCIÓN:** Árbol de 15 a 25 m. de altura con corteza lisa, blanca a marrón claro que se exfolia completamente cada año. Las hojas son opuestas, elípticas a lanceoladas de 8-12 cm de largo. Flores blancas y crema en inflorescencias terminales paniculadas.
- **SUELOS:** Adaptable a una amplia gama de suelos bien drenados, preferentemente frances a franco-arcillosos.
- **USOS:** Madera para construcción y carpintería. Árbol ornamental, plantaciones forestales.
- **CRECIMIENTO:** Rápido, alcanzando hasta 8-10 metros de altura en 3-4 años.
- **PROPAGACIÓN:** Semillas, las cuales necesitan tratamiento pregerminativo para mejorar la germinación.
- **DENSIDAD DE LA MADERA:** 0.75 g/cm³.
- **CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA:** Color marrón claro. De grano fino. Liviana, moderadamente durable, fácil de trabajar y resistente.



Anexo 5. Ficha comercial de *Calycophyllum spruceanum*



**COMERCIALIZADORA DE SEMILLAS
FORESTALES **GMULA** E.I.R.L.**

**FICHA COMERCIAL DE LA ESPECIE
“CAPIRONA”**

Calycophyllum spruceanum



PRODUCTO COMERCIAL:

Semillas de *Calycophyllum spruceanum*

PORCENTAJE DE GERMINACIÓN:

60%

PRECIO:

S/. 350 por kg.

*Oportunidades de mercado para la madera
y plantones de Capirona.*

Anexo 6. Validación de expertos

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:		INOCULACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAPIRONA (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth) Hook ex Schumann), JAÉN – PERÚ		
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:		POTENCIALIDAD DEL RECURSO FORESTAL		
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EXPERTO:		<i>Sorita Lopez Fernández</i>		
EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN PERTENECE A LA VARIABLE:		VARIABLE DEPENDIENTE: Plantones de capirona		
EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN SERÁ PERTINENTE PARA:		CAMPO – VIVERO FORESTAL		
<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de Sí o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.</p>				
Item	Pregunta	Sí	No	Observaciones
1	¿El instrumento de recolección de datos presenta un diseño adecuado para el registro en vivero?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan claramente las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la variable de estudio?	X		
6	¿Cada ítem del instrumento de recolección de datos se vincula con los indicadores planteados?	X		
7	¿El diseño del instrumento de campo facilita el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de aplicar en vivero?	X		
9	¿La ficha de campo permite registrar datos de manera confiable y reducir errores en la toma de información?	X		
10	¿El instrumento incluye todos los parámetros necesarios para evaluar el crecimiento y supervivencia de los plantones?	X		
SUGERENCIAS:			FIRMA: <i>[Signature]</i> Ing. Sorita Lopez Fernández CIP: 228716	

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:		INOCULACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTONES DE CAPIRONA (<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth) Hook ex Schumann), JAÉN – PERÚ		
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:		POTENCIALIDAD DEL RECURSO FORESTAL		
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EXPERTO:		<i>Ingrid Magaly Albarca Márquez</i>		
EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN PERTENECE A LA VARIABLE:		VARIABLE DEPENDIENTE: Plantones de capirona		
EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN SERÁ PERTINENTE PARA:		CAMPO – VIVERO FORESTAL		
<p>Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "X" en las columnas de Sí o No. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.</p>				
Ítem	Pregunta	Sí	No	Observaciones
1	¿El instrumento de recolección de datos presenta un diseño adecuado para el registro en vivero?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan claramente las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la variable de estudio?	X		
6	¿Cada ítem del instrumento de recolección de datos se vincula con los indicadores planteados?	X		
7	¿El diseño del instrumento de campo facilita el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de aplicar en vivero?	X		
9	¿La ficha de campo permite registrar datos de manera confiable y reducir errores en la toma de información?	X		
10	¿El instrumento incluye todos los parámetros necesarios para evaluar el crecimiento y supervivencia de los plantones?	X		<i>L. M. M.</i>
SUGERENCIAS:			FIRMA:	<i>Ingrid Magaly Albarca Márquez</i>

Anexo 7. Formato validado por expertos para evaluar el desarrollo de los plantones

Intervalo de evaluación (días)	Tratamiento	Vigor general	Coloración foliar	Turgencia del tallo	Estado del sistema radical	Observación cualitativa del desarrollo
15	T0					
	T1					
	T2					
	T3					
30	T0					
	T1					
	T2					
	T3					
45	T0					
	T1					
	T2					
	T3					
60	T0					
	T1					
	T2					
	T3					
75	T0					
	T1					
	T2					
	T3					
90	T0					
	T1					
	T2					
	T3					

Anexo 8. Evaluación radicular del plantón de *Calycophyllum spruceanum* a los 90 días

Tratamiento	Condición del sistema radicular	Abundancia de raíces	Longitud de raíces	Calidad radicular	Implicancia para el trasplante
T0 (Sin inoculación)					
T1 (Dosis baja)					
T2 (Dosis media)					
T3 (Dosis alta)					

Anexo 9. Formato validado por expertos para la obtención de resultados de laboratorio

RAÍC ES	INDICADO RES	TESTIGO – Inoculación de 0 gr de micorrizas nativas																				TOTAL				PORCENT AJE					
		T-1					T-2					T-3					T-4					T-5									
		CAMPOS										CAMPOS										CAMPOS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
2	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
3	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
4	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
5	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
6	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
7	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%
	V																													0	0.00%
	E																													0	0.00%
8	A																													0	0.00%
	H																													0	0.00%

Anexo 10. Formato validado por expertos para la obtención de resultados de campo

PLANTÓN	TABLA 02 - MUESTRA 3%															
	DÍA 0		DÍA 15		DÍA 30			DÍA 45			DÍA 60			DÍA 75		
	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (cm)	Nº DE HOJAS	ALTURA (mm)	
FECHA	7/03/2024		21/03/2024		4/04/2024			18/04/2024			2/05/2024			16/05/2024		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
40 DÍAS DE ALMACIGADO																
4																

Anexo 11. Resultados resumen del ANOVA y TUKEY



ANALISIS DE VARIANZA
Prueba de ANOVA de efectos fijos

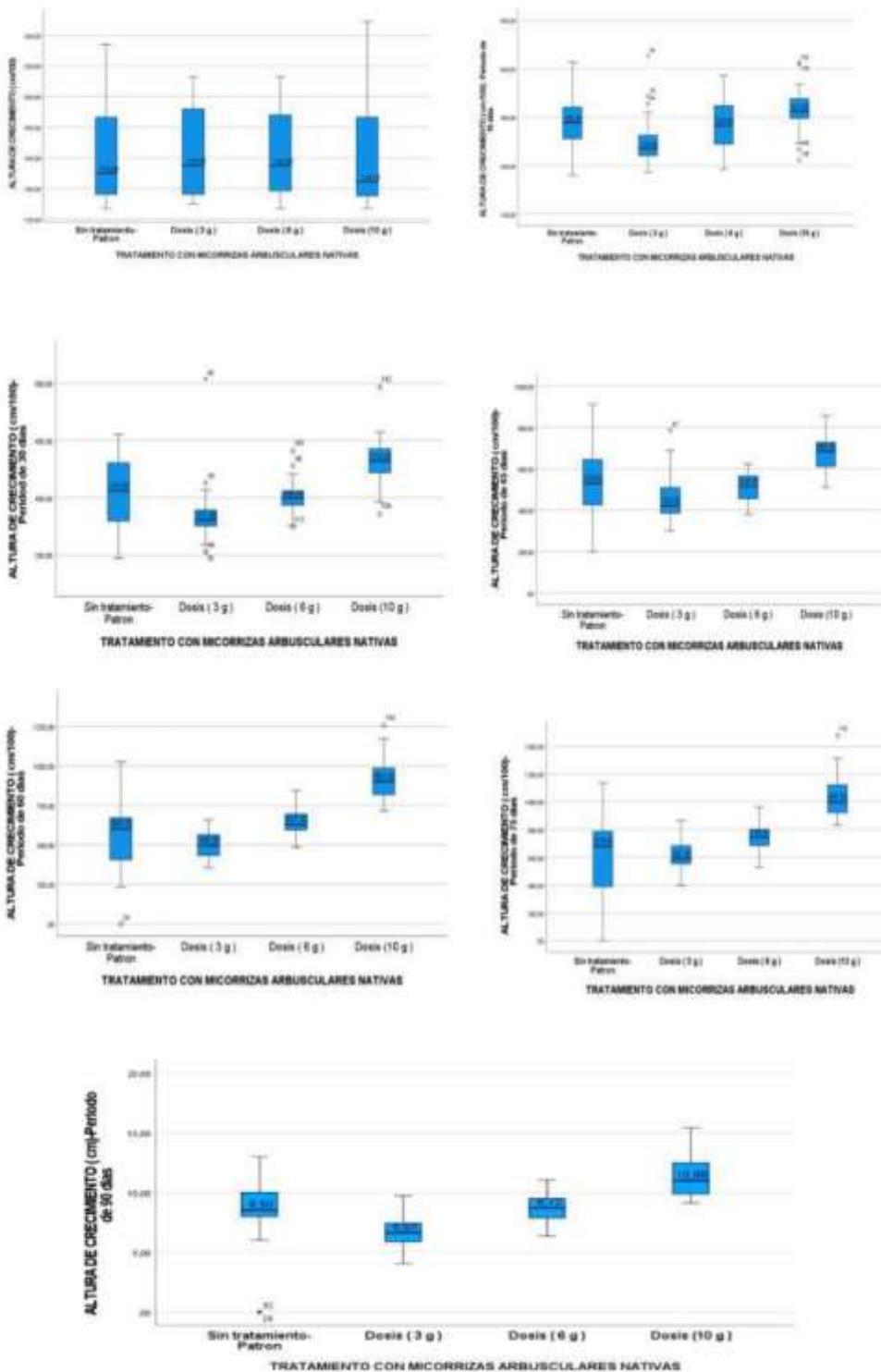
Prueba general: ALTURA

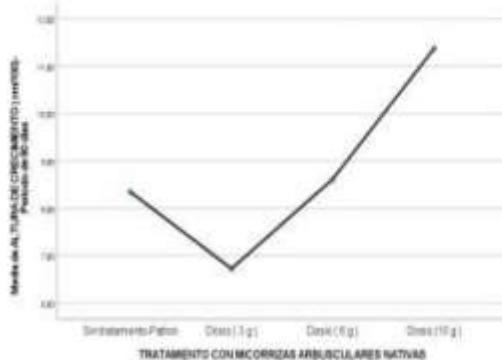
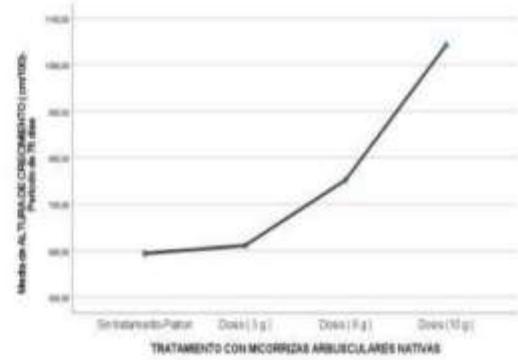
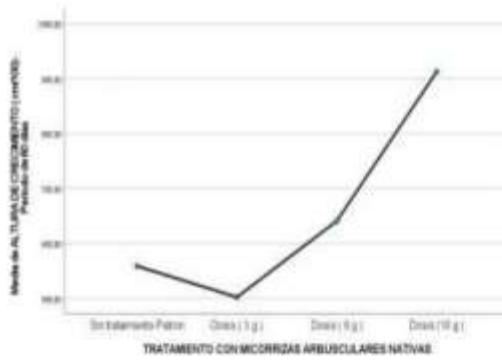
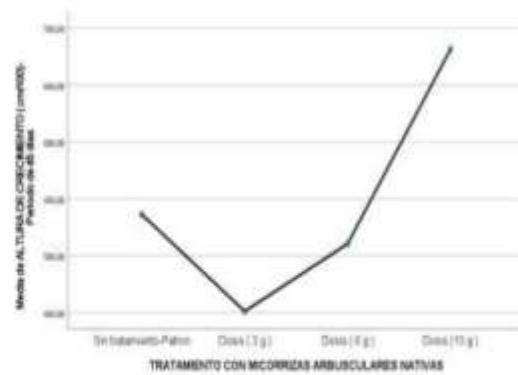
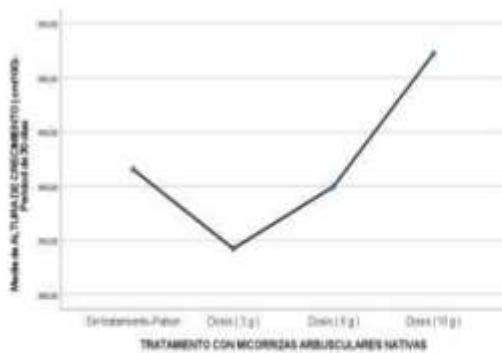
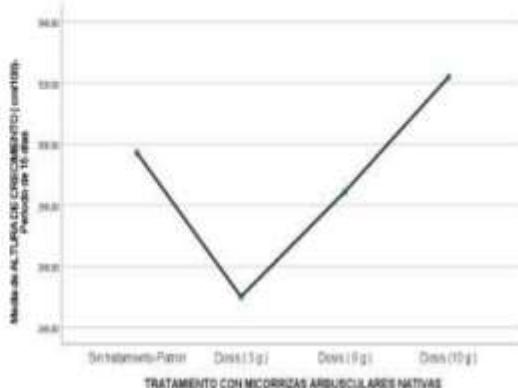
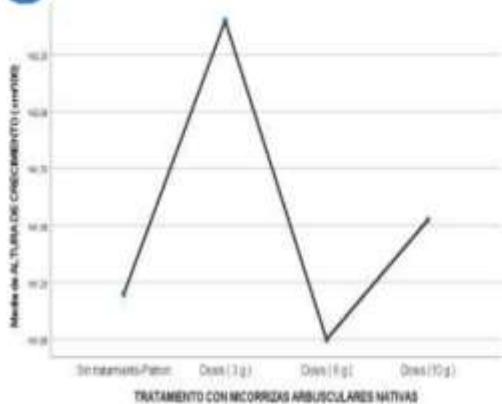
Días	Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
0	Tratamientos	45.869	3	15.290	0,017	2,66	0,997
	Error	136 327,975	156	873,897			
	Total	136 373,844	159				
15	Tratamientos	99 764,383	3	33 254,794	8,089	2,67	0,000
	Error	587 864,610	143	4 110,941			
	Total	687 628,993	146				
30	Tratamientos	565 788,068	3	188 596,023	22,016	2,68	0,000
	Error	1 079 364,124	126	8 566,382			
	Total	1 645 152,192	129				
45	Tratamientos	810 490,754	3	270 163,585	19,996	2,69	0,000
	Error	1 553 740,423	115	13 510,786			
	Total	2 364 231,176	118				
60	Tratamientos	2 786 422,394	3	928 807,465	48,376	2,70	0,000
	Error	2 073 578,713	108	19 199,803			
	Total	4 860 001,107	111				
75	Tratamientos	3 649 946,387	3	1 216 648,796	40,941	2,70	0,000
	Error	3 209 472,604	108	29 717,339			
	Total	6 859 418,991	111				
90	Tratamientos	305,809	3	101,936	27,679	2,70	0,000
	Error	383,013	104	3,683			
	Total	688,822	107				

Sig.=0,05

Prueba de Tukey^{a,b} (HSD)

Periodo (días)	Tratamiento con micorrizas arbusculares nativas	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
15	Dosis (3 g)	35	2,50571		
	Dosis (6 g)	35	2,84000	2,84000	
	Sen tratamiento – Patrón	37		2,97135	
	Dosis (10 g)	40		322,0000	
	Sig.		0,105	0,063	
30	Dosis (3 g)	31	342,3226		
	Dosis (6 g)	32	399,4375	399,4375	
	Sen tratamiento – Patrón	32		415,4375	
	Dosis (10 g)	35			522,2000
	Sig.		0,067	0,898	1,000
45	Dosis (3 g)	24	451,2083		
	Dosis (6 g)	33	510,6061	510,6061	
	Sen tratamiento – Patrón	32		536,3438	
	Dosis (10 g)	30			681,5667
	Sig.		0,211	0,832	1,000
60	Dosis (3 g)	24	501,8750		
	Sen tratamiento – Patrón	26	558,5769	558,5769	
	Dosis (6 g)	32		640,5625	
	Dosis (10 g)	30			912,2667
	Sig.		0,428	0,130	1,000
75	Sen tratamiento – Patrón	26	593,5769		
	Dosis (3 g)	24	611,2083		
	Dosis (6 g)	32		752,2500	
	Dosis (10 g)	30			1042,7000
	Sig.		0,981	1,000	1,000
90	Dosis (3 g)	24	6,7287		
	Sen tratamiento – Patrón	26		8,3462	
	Dosis (6 g)	28		8,6161	
	Dosis (10 g)	30			11,3660
	Sig.		1,000	0,955	1,000







TSV104-001A7c1104
07-2003-1608

ANALISIS DE VARIANZA

Prueba de ANOVA de efectos fijos

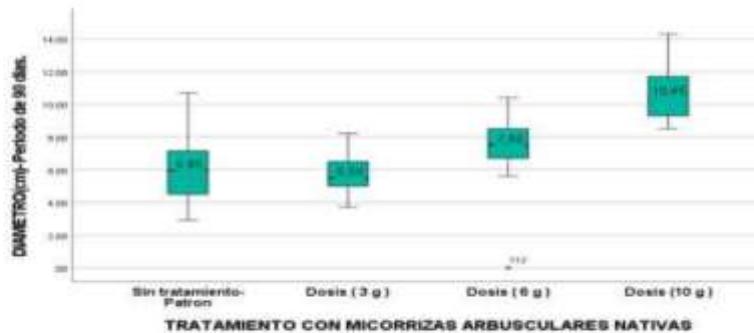
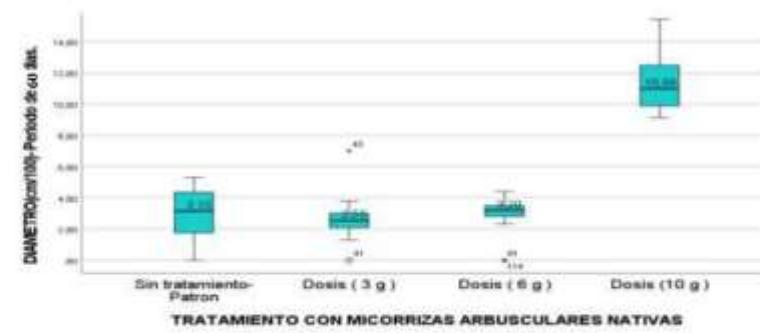
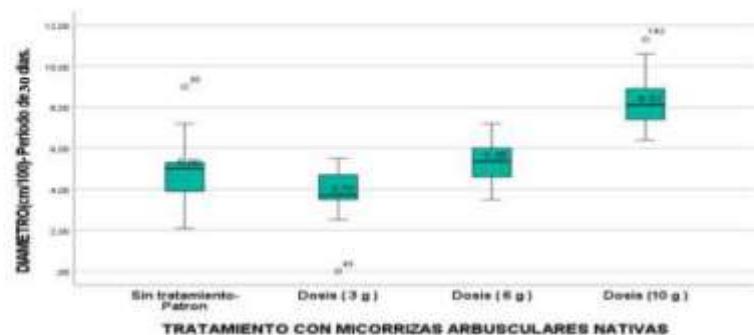
Prueba general: Diámetro

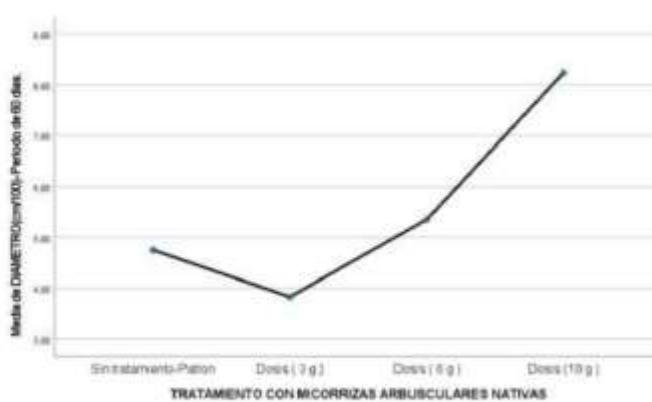
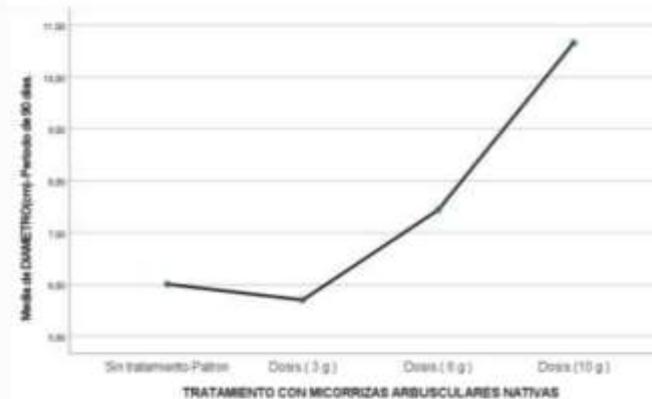
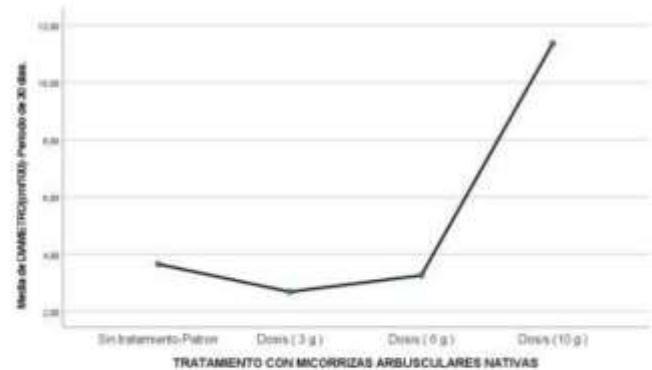
Periodo (días)	Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
30	Tratamiento	996,045	3	332,015	38,096	2,66	0,000
	Error	1 289,860	148	8,715			
	Total	2 285,905	151				
60	Tratamiento	429,191	3	143,064	49,637	2,70	0,000
	Error	296,868	103	2,882			
	Total	726,059	106				
90	Tratamiento	1,475	3	0,492	0,537	2,66	0,658
	Error	142,900	156	0,916			
	Total	144,375	159				

Sig. = 0,05

Prueba de Tukey^{a,b} (HSD)

Periodo (días)	Tratamiento con micorrizas arbusculares nativas	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2	Subconjunto 3
30	Dosis (3 g)	32	2,6031		
	Dosis (6 g)	40	2,6075		
	Sin tratamiento - Patrón	40	2,9225		
	Dosis (10 g)	40		8,5245	
	Sig.		0,966	1,000	—
60	Dosis (3 g)	25	3,8360		
	Sin tratamiento - Patrón	25		4,7520	
	Dosis (6 g)	32		5,3531	
	Dosis (10 g)	30			8,2367
	Sig.		1,000	0,261	1,000
90	Dosis (3 g)	24	5,7042		
	Sin tratamiento - Patrón	24	6,0083		
	Dosis (6 g)	29		7,4414	
	Dosis (10 g)	30			10,6633
	Sig.		0,915	1,000	1,000







ESTADÍSTICA CON SAS

ED. 1995. 7Av.

ANALISIS DE VARIANZA

Prueba de ANOVA de efectos fijos

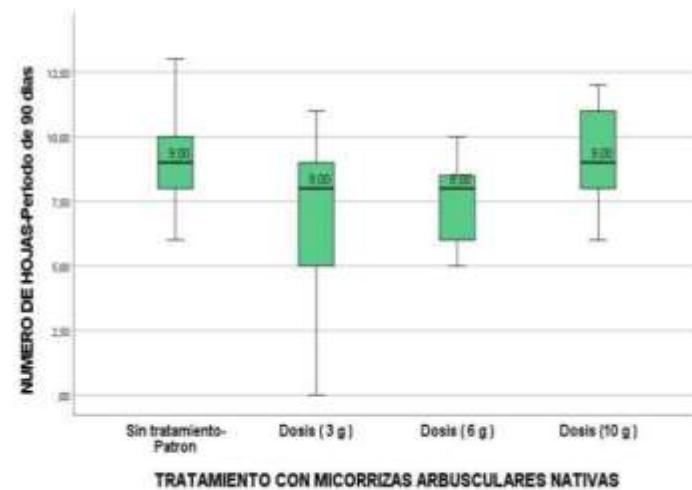
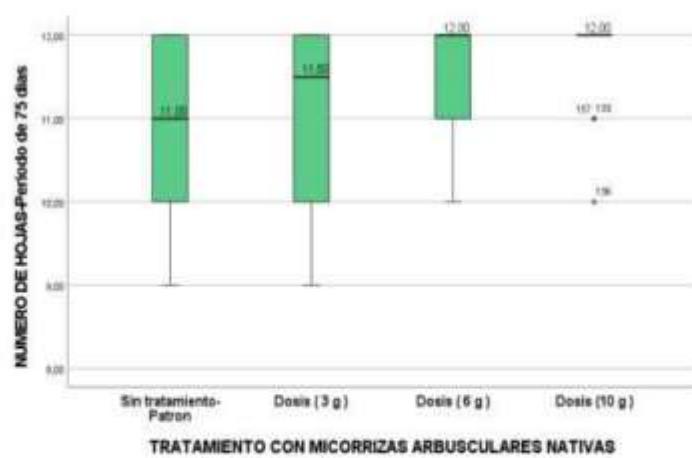
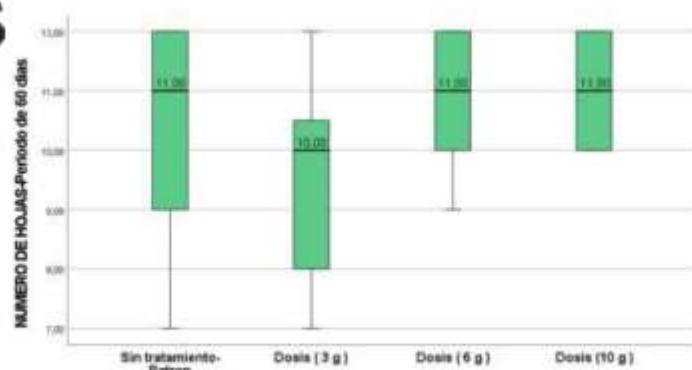
Prueba general: Número de hojas

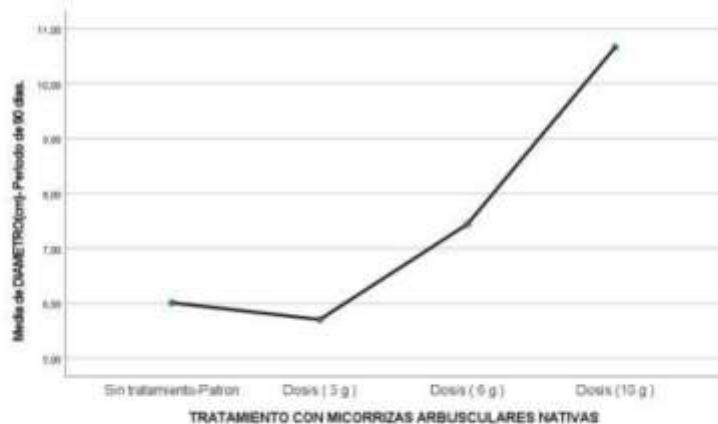
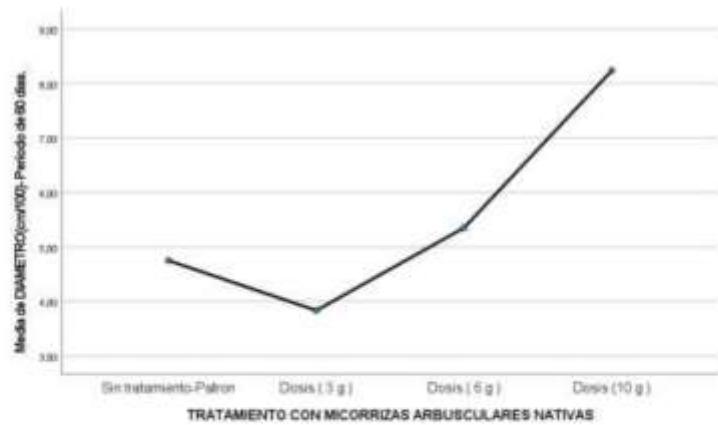
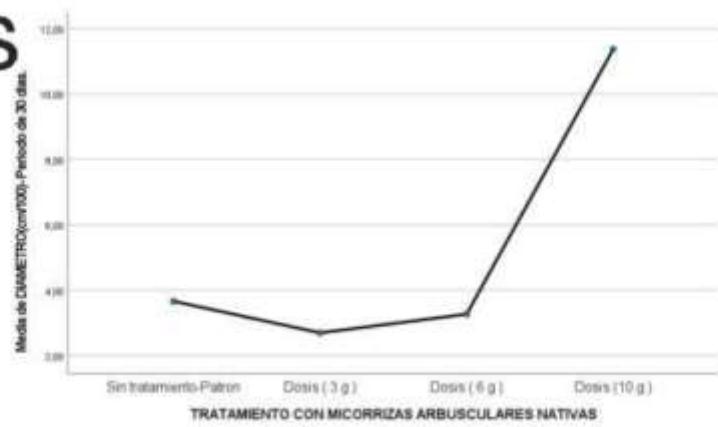
Periodo (días)	Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
0	Tratamientos	1.475	3	0,492	0,537	2,66	0,658
	Error	142.900	156	0,916			
	Total	144.375	159				
15	Tratamientos	16.550	3	5,517	1,949	2,66	0,124
	Error	427.346	151	2,830			
	Total	443.897	154				
30	Tratamientos	134.043	3	44,681	5,053	2,66	0,002
	Error	1.299.837	147	8,842			
	Total	1.433.881	150				
45	Tratamientos	8.405	3	2,802	1,053	2,69	0,372
	Error	306.032	115	2,661			
	Total	314.437	118				
60	Tratamientos	34.852	3	11,617	6,669	2,70	0,000
	Error	184.648	106	1,742			
	Total	219.500	109				
75	Tratamientos	18.189	3	6,063	6,103	2,70	0,001
	Error	105.302	106	0,993			
	Total	123.491	109				
90	Tratamientos	70.685	3	23,562	5,760	2,70	0,001
	Error	425.417	104	4,091			
	Total	496.102	107				

Sig.= 0,05

Prueba de Tukey^{a,b} (HSD)

Periodo (días)	Tratamiento con micorrizas arbusculares nativas	N	Subconjunto 1	Subconjunto 2
30	Dosis (6 g)	39	5,4872	
	Dosis (10 g)	40	6,9500	6,9500
	Sin tratamiento - Patrón	40		7,2750
	Dosis (3 g)	32		8,1563
	Sig.		0,149	0,300
60	Dosis (3 g)	24	9,5417	
	Sin tratamiento - Patrón	25	10,4000	10,4000
	Dosis (6 g)	32		10,7500
	Dosis (10 g)	29		11,1034
	Sig.		0,084	0,209
75	Sin tratamiento - Patrón	24	10,8333	
	Dosis (3 g)	24	10,9167	
	Dosis (6 g)	32	11,4688	11,4688
	Dosis (10 g)	30		11,8333
	Sig.		0,095	0,537
90	Dosis (3 g)	26	7,1538	
	Dosis (6 g)	28	7,6786	7,6786
	Dosis (10 g)	30		8,9667
	Sin tratamiento - Patrón	24		9,0417
	Sig.		0,778	0,071

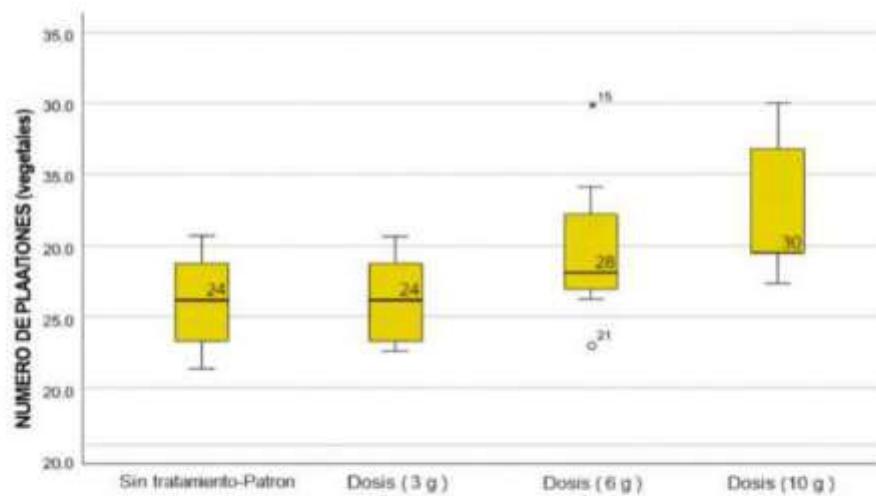




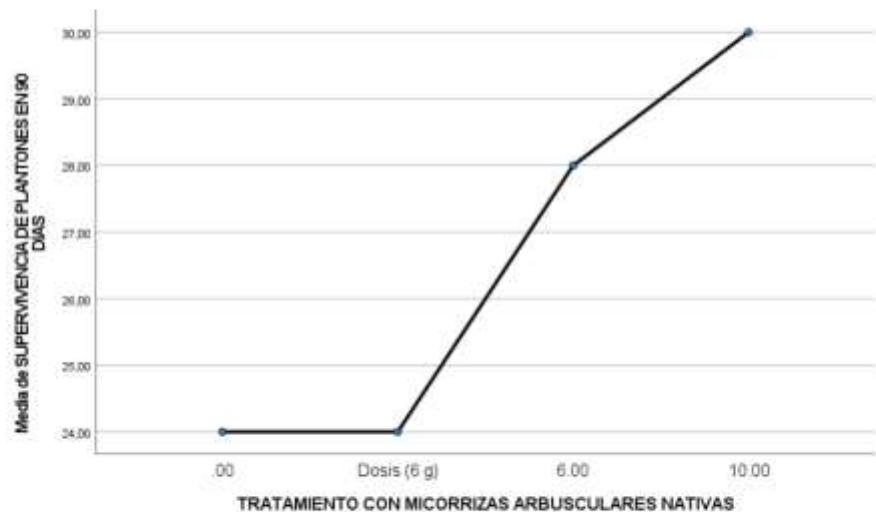
ANALISIS DE VARIANZA
Prueba de ANOVA de efectos fijos Prueba
general: Supervivencia de plantones

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F calculado	F tabulado	Sig.
Entre grupos	100,714	3	33,571	1,103	3,01	0,367
Dentro de grupos	730,286	24	30,429			
Total	831,000	27				

Sig.= 0,05



TRATAMIENTO CON MICORRIZAS ARBUSCULARES NATIVAS



Anexo 12. Panel fotográfico

Panel 1. Compra de semilla de *Calycophyllum spruceanum*, preparación de sustrato y cama de germinación



Foto 1. Semilla de CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)



Foto 2. Semilla de CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)



Foto 3. Preparación de la cama de germinación



Foto 4. Esparcimiento de semillas de CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)



Foto 3. Nacimiento de las semillas de CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)



Foto 4. Plantulas de CAPIRONA (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)

Panel 2. Establecimiento del área y obtención de muestras para aislar esporas



Foto 1. Limpieza del área de toma de muestra



Foto 2. Área de toma de la muestra



Foto 3. Obtención de 1kg. de muestra de suelo

Foto 4. Obtención de muestras de suelo y raicillas



Panel 3. Separación de esporas de hongos micorrízicos



Foto 1. Peso de 100 g de suelo



Foto 2. Frasco de Erlenmeyer con agua + suelo



Foto 3. Homogenización de agua destilada más suelo rizosférico



Foto 4. Tamizado de suelo



Foto 5. Muestras del tamizado

Panel 4. Inoculación de esporas en las plántulas de capirona (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook ex Schumann)



Foto 1. Muestra testigo



Foto 2. Muestra inoculada con 3 gramos de tierra micorrizada



Foto 3. Muestra inoculada con 6 gramos de tierra micorrizada



Foto 4. Muestra inoculada con 10 gramos de tierra micorrizada

Panel 5. Proceso de crecimiento de los plantones a nivel de vivero



Foto 1. Primeras 2 semanas después del repique



Foto 2. Avance de crecimiento de las 4 muestras a las 6 semanas



Foto 3. Toma de medidas acumulativas de crecimiento de plantones



Foto 4. Vista de plantones inoculados con 10 gr. de tierra micorrizada en su ultima semana de estudio

Panel 6. Observación y toma de medidas de raíces de la muestra testigo y las muestras inoculadas



Foto 1. Raíces de la muestra testigo



Foto 2. Raíces con inculación de 3 gr. de tierra micorrizada



Foto 3. Raíces con inculación de 3 gr. de tierra micorrizada



Foto 4. Raíces con inculación de 3 gr. de tierra micorrizada

Panel 7. Centrifugación, decantación y extracción para concentrar las esporas



Foto 1. Peso para la solución de sacarosa al 70%



Foto 2. Solución de sacarosa al 70%



Foto 3. Centrifugando



Foto 4. Concentración de esporas



Foto 5. Verificación hecha por la
bióloga Marcela Arteaga en el conteo
de esporas

Panel 8. Tinción de raíces y Cuantificación del porcentaje de colonización



Foto 1. HCl al 1N

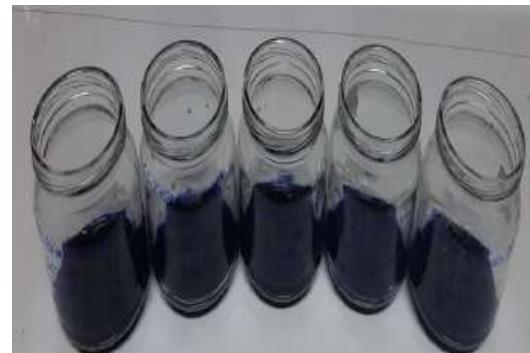


Foto 2. Tinción con azul de tripano

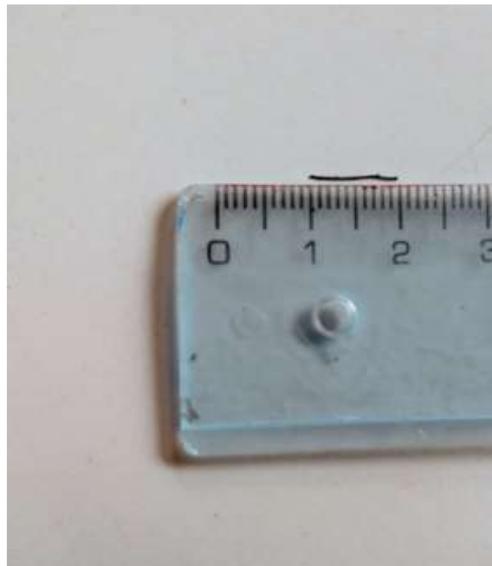


Foto 3. Medición de raicillas a 1cm de
longitud



Foto 4. Montaje de raicillas



Foto 5. Observación de campos infestados

Panel 9. Peso raíz + hojas en húmedo y peso raíz + hojas en seco



Foto 2. Peso en de planta en húmedo



Foto 2. Proceso de pérdida de humedad, primero ingreso al horno a 200 °C



Foto 3. Proceso de pérdida de humedad, segundo ingreso al horno a 200 °C



Foto 4. Proceso de pérdida de humedad, último ingreso al horno a 200 °C

Panel 10. Observatorio de esporas en el microscopio

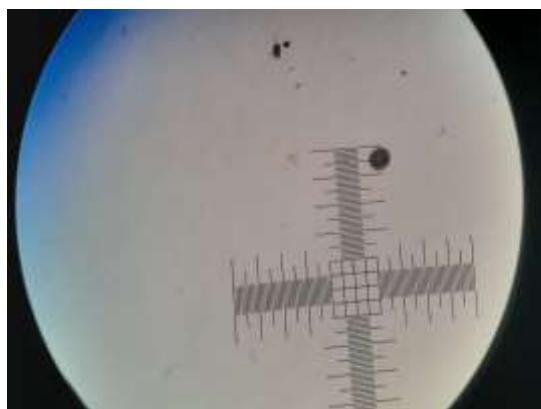


Foto 2. Espora Identificada como posible Acaulospora

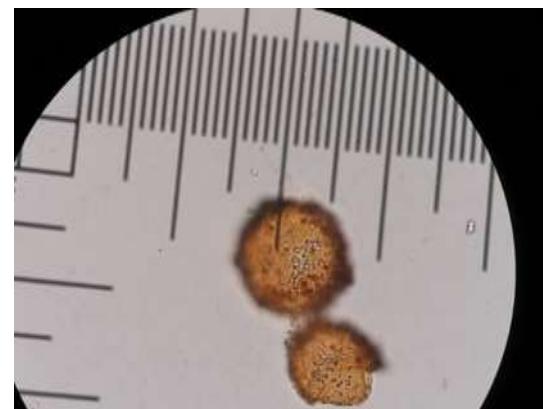


Foto 2. Espora Identificada como posible Acaulospora.

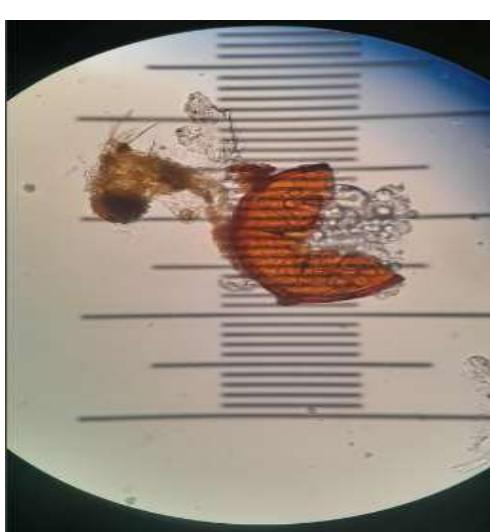


Foto 3. Espora identificada como posible glomus.

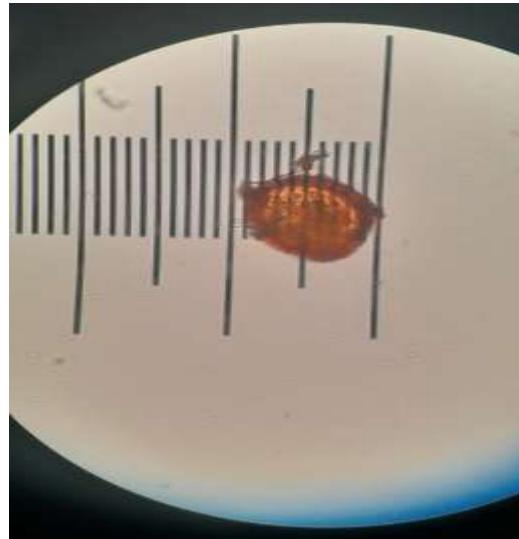


Foto 4. Espora Identificada como posible glomus.



Foto 3. Vista de una espora en la raíz inoculada