

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**EFECTO DE CINCO CONSORCIOS MICORRÍZICOS
ARBUSCULARES EN EL CRECIMIENTO DE QUINA
(*Cinchona* sp.) EN VIVERO EN AMAZONAS**

Autora: Bach. Marly Guelac Santillan

Asesor: Ing. Guillermo Idrogo Vásquez

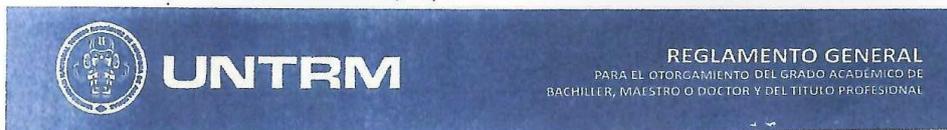
Co-asesor: Ing. Tito Sanchez Santillan

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS-PERÚ

2022

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Guetae Santillan Marly
DNI N°: 73697253
Correo electrónico: 736972537@untrm.edu.pe
Facultad: de Ingeniería y Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: de Ingeniería Agrónoma

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

"Efecto de cinco concentraciones micorrízicas arbusculares en el crecimiento de quinua (Cinchona sp.) en vivo en Amazonas"

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Idiogo Vasquez Guillermo
DNI, Pasaporte, C.E N°: 25409884
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): 0000-0003-1044-5006

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Sanchez Santillan Tito
DNI, Pasaporte, C.E N°: 33703200
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): 0000-0002-3352-341X

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html ciencias agrícolas / Agricultura, Silvicultura y Pesca

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 20 / enero / 2023


Firma del autor 1

Firma del autor 2


Firma del Asesor 1


Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por darme la sabiduría, fortaleza y las fuerzas suficientes en mis momentos difíciles durante mi formación profesional.

A mis padres Nelson Guelac - Dalila Santillan y mis hermanos Darwin, Marbelith, Esnaider, Cindy y Yasummy por ser mi motivo para seguir adelante. A mis queridos familiares Fredy Velayarse y Gleni Huaman.

A mi segunda casa AMAJEP-Luya, liderada por la señora Teresa Pallardo Arago, con su coordinadora Gabrielita Valqui y mi tutora, Paula Ysabel Tuesta; con el apoyo de la ONG TUPAY-España.

Marly Guelac Santillan

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero y eterno agradecimiento a las personas que contribuyeron en mi formación académica y en valores tales como:

-Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) con N° de contrato 103-2021 por financiar el trabajo de investigación en el proyecto “Biofertilización de plantas de quina (*Cinchona* sp.) con hongos micorrízicos arbusculares nativos, como mecanismo de adaptación y multiplicación masiva de la especie en condiciones diferentes a su hábitat natural, en la región Amazonas”. A las personas del equipo técnico del proyecto, por su ayuda y enseñanzas brindadas durante el desarrollo de mi trabajo.

-Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana de Amazonas, (IIAP-AMAZONAS) por permitirme se parte de ella y brindarme las facilidades para la ejecución de la investigación.

-Mis asesores Ing. Guillermo Idrogo Vázquez y Ing. Tito Sánchez Santillan, por su asesoramiento, su tiempo, apoyo, paciencia y compartir sus conocimientos científicos durante toda la ejecución de mi proyecto de tesis.

-A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y a la FICA por abrirme las oportunidades y enseñanzas para mi formación.

-Mis padres por inculcarme a ser mejor cada día y por estas siempre conmigo, a mis hermanos que estuvieron dándome ánimo para cumplir mi sueño, a mis tíos Fredy y Gleni quienes me brindaron su apoyo.

-AMAJEP-Luya con el apoyo de la ONG TUPAY-España, donde conocí maravillosas personas, quienes contribuyeron en mi formación personal y académica. A la señora Teresa Pallardó Arago, a la señorita Gabrielita Valqui y la señorita Paula Ysabel Tuesta mujeres valientes, admirables y ejemplos a seguir, por su apoyo incondicional.

Marly Guelac Santillan

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA AMAZONAS**

**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA
RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**Ing. Mg. Sc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERI
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (✓)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Efecto de cinco consorcios micorrízicos arbusculares en el crecimiento de quina (Cinchona sp.) en vivero en Amazonas"; del egresado Marly Guelac Santillan de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 14 de octubre de 2022


Firma y nombre completo del Asesor
Ing. Guillermo Idrogo Vasquez

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (X), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Efecto de cinco consorcios micorrízicos arbusculares en el crecimiento de quina (Cinchona sp.) en vivero en Amazonas"; del egresado Marly Guelac Santillan de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 14 de octubre de 2022

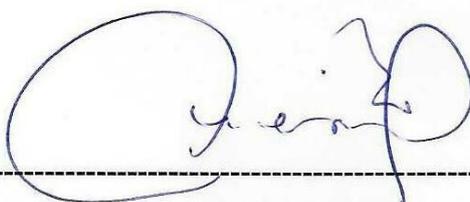

Firma y nombre completo del Asesor
Tito Sanchez Santillan
73403700

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ing. Mg. Sc. CESAR GUEVARA HOYOS

PRESIDENTE



M.Sc. SANTOS TRIUNFO LEIVA ESPINOZA

SECRETARIO



Ing. Mg. Sc. ELI PARIENTE MONDRAGÓN

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

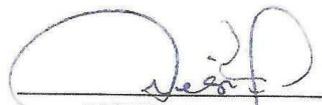
Efecto de cinco consorcios micorrizicos arbusculares en el
crecimiento de quina (Cinchona sp.) en vivero en Amazonas
presentada por el estudiante ()/egresado (x) Marly Gueles Santillan
de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma
con correo electrónico institucional 7369725371@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 01 de diciembre del 2022


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 20 de diciembre del año 2022 siendo las 11 horas, el aspirante: Marly Guelac Santillan, asesorado por Ing. Guillermo Idrogo Vasquez, Ing. Tito Sanchez Santillan defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Efeto de cinco consorcios micorrizicos arbusculares en el crecimiento de Quina (Quinona sp.) en vivo, en Amazona, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Mg. Sc. Cesar Guerrero Hagoi

Secretario: Mg. Santo Inocencio Vera Espinoza

Vocal: Mg. Sc. El Yaneute Mondragón



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

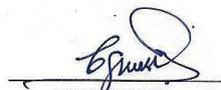
Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las _____ horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS.....	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLA	xii
ÍNDICE DE FIGURA.....	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS	21
2.1. Ubicación del Área de Estudio.....	21
2.2. Diseño Estadístico de la Investigación.....	21
2.3. Metodología	24
2.4. Evaluación de Variables.....	30
2.5. Análisis Estadístico de Datos	35
III. RESULTADOS	36
IV. DISCUSIÓN	55
V. CONCLUSIONES	61
VI. RECOMENDACIONES	62
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de tratamientos con 5 consorcios micorrízicos arbusculares en quina.....	23
Tabla 2. Cuadro de análisis de varianza-ANOVA.....	24
Tabla 3. Georreferenciación de los puntos de colecta de los suelos rizósfera en 5 zonas de la región Amazonas.....	26
Tabla 4. Análisis de varianza para altura de los plántones de quina.....	36
Tabla 5. Análisis de varianza para el diámetro de los plántones de quina.....	37
Tabla 6. Análisis de varianza para materia seca foliar de los plántones de quina, asociado con HMA	38
Tabla 7. Análisis de varianza para materia seca radicular de planta de los plántones de quina inoculados con HMA	38
Tabla 8. Análisis de varianza para área foliar de los plántones de quina asociados a HMA	40
Tabla 9. Análisis de varianza para número de raíz de los plántones de quina inoculadas.	41
Tabla 10. Análisis de varianza para el tamaño de raíz de los plántones de quina asociados con HMA	42
Tabla 11. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento de los plántones de quina ..	43
Tabla 12. Análisis de varianza para la sobrevivencia de los plántones de quina inocula	44
Tabla 13. Análisis de varianza para el porcentaje de colonización	46
Tabla 14. Análisis de varianza para longitud de micelio de los plántones de quina.....	47
Tabla 15. Análisis de correlación con todas las variables morfológicas y fúngicas.....	48
Tabla 16. Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Rodríguez de Mendoza)	49
Tabla 17. Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Yambrasbamba)50	
Tabla 18. Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Leymebamba) ..	51
Tabla 19. Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-San Jerónimo) ..	51
Tabla 20. Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Conila)	53
Tabla 21. Resultados de las variables morfológicas y fúngicas asociados con hongos micorrízicos arbusculares en quina en vivero.....	68
Tabla 22. Resultado de análisis de suelos micorrizados	69

Tabla 23. Resultado de análisis de suelo usado en la investigación para la inoculación con las plantas de quina en vivero	69
Tabla 24. Datos meteorológicos (Temperatura y Humedad relativa) del vivero del IIAP- Amazonas-Condorcanqui.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en Seasmí-Nieva- Condorcanqui.	21
Figura 2. Esquema de la división de tratamientos bajo un DCA.....	22
Figura 3. Croquis de la distribución en el vivero de la estación del IIAP.....	23
Figura 4. Mapa de ubicación de la colecta de HMA en las provincias-distritos de la región Amazonas.....	27
Figura 5. Niveles de colonización (0-5) de HMA según el grado, método de Trouvelot, et al. (1986).....	33
Figura 6. Test post-hoc de Tukey (5%) para altura de plántones de quina inoculadas con cinco consorcios micorrízicos autóctonos	36
Figura 7. Test post-hoc de Tukey (5%) para diámetro de plántones de quina, bajo la asociación de los HMA.....	37
Figura 8. Test post-hoc de Tukey (5%) para materia seca foliar y radicular de plántones de quina asociado con HMA.....	39
Figura 9. Test post-hoc de Tukey (5%) para área foliar de plántones de quina	40
Figura 10. Test post-hoc de Tukey (5%) para número de raíz de plántones de quina asociados con HMA.....	41
Figura 11. Test post-hoc de Tukey (5%) para tamaño de raíz de plántones de quina de los diferentes tratamientos	42
Figura 12. Test post-hoc de Tukey (5%) para tasa de crecimiento de las plantas de quina en vivero, bajo efecto de HMA.....	43
Figura 13. Curva de crecimiento de los plántones de quina en vivero, bajo efecto de hongos micorrízicos arbusculares (cm/días).....	44
Figura 14. Test post-hoc de Tukey (5%) para sobrevivencia en los plántones de quina micorrizada.....	45
Figura 15. Test post-hoc de Tukey (5%) para porcentaje de colonización de los hongos micorrízicos arbusculares presentes en los plántones de quina	46
Figura 16. Test post-hoc de Tukey (5%) para longitud de micelio extraradical presentes en los plántones de quina.....	47
Figura 17. Identificación de plantas de quina y limpieza de puntos de colecta	70
Figura 18. Colecta de suelo rizosférico de quina – bosque montano Conila.....	70
Figura 19. Multiplicación con planta de maíz y colecta de suelos multiplicados	71
Figura 20. Semillas y la germinación de la quina.....	71

Figura 21. Inoculación y repique de plántulas de quina	72
Figura 22. Medición del diámetro de tallo de <i>Cinchona</i> sp.....	72
Figura 23. Medición del tamaño radicular de <i>Cinchona</i> sp.....	73
Figura 24. Evaluación de la biomasa seca foliar y radicular de <i>Cinchona</i> sp.	73
Figura 25. Pasos para la evaluación de micelio extraradical; a) observación en estereoscopio 4x; b) micelio extraradicular.....	74
Figura 26. Proceso para la evaluación de porcentaje de colonización; a) observación en microscopio a 100x; b) hifas de HMA en raíz de quina	74
Figura 27. Proceso para la identificación de esporas; a) aislamiento de esporas con micropipeta; b) medición de espora a 40X de aumento.....	75

RESUMEN

El estudio tuvo por objetivo evaluar el efecto de cinco consorcios micorrízicos arbusculares en el crecimiento de quina (*Cinchona* sp.) en vivero en Amazonas. Se instaló en un Diseño Completamente al Azar (DCA) con seis tratamientos, cinco consorcios micorrízicos y un testigo, tres repeticiones y nueve unidades experimentales. Los consorcios fueron colectados de la rizósfera de plantas de quina en cuatro provincias y cinco distritos: Rodríguez de Mendoza (San Nicolás), Chachapoyas (Leymebamba), Bongará (Yambrasbamba), Luya (San Jerónimo y Conila) de la región Amazonas, éstos fueron multiplicados con *Zea mays* como hospedero durante 80 días, luego se inoculó a las plántulas de quina con 50 g de sustrato de HMA. Los resultados muestran que existe efecto positivo de los consorcios micorrízicos arbusculares en plántulas de quina, sobresaliendo los tratamientos T4 (CM-SJ), y T2 (CM-YAM) en la variable de altura de planta, diámetro de tallo, materia seca foliar y radicular, área foliar), por su parte, el T4 (CM-SJ) influyó en la tasa de crecimiento a partir de los 75 -120 días. Los consorcios con mayor efectividad no fueron los que mostraron mayor porcentaje de colonización radicular, pero sí, aquellos que obtuvieron mayor longitud de micelio extraradicular (CM-YAM); se identificó el género *Glomus* con mayor abundancia en todos los consorcios estudiados (18 géneros), seguido de *Acaulospora* (16 géneros). Se concluye que los consorcios micorrízicos arbusculares autóctonos manifiestan efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de quina a nivel de vivero, mostrando efectos diferenciado en función a la procedencia y en parte la especificidad con las especies estudiadas.

Palabra clave: biodiversidad nativa, *Cinchona*, hongos autóctonos, micorriza.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the effect of five arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of cinchona (*Cinchona* sp.) in nurseries in Amazonas. It was installed in a Completely Random Design (DCA) with six treatments, five mycorrhizal consortia and one control, three repetitions and nine experimental units. The consortia were collected from the rhizosphere of cinchona plants in four provinces and five districts: Rodríguez de Mendoza (San Nicolás), Chachapoyas (Leymebamba), Bongará (Yambrasbamba), Luya (San Jerónimo and Conila) of the Amazonas region, these were multiplied with *Zea mays* as host for 80 days, then the cinchona seedlings were inoculated with 50 g. The results show the effectiveness of the arbuscular mycorrhizal consortia in cinchona seedlings, standing out the treatments T4 (CM-SJ), and T2 (CM-YAM) in the variable plant height, stem diameter, leaf and root dry matter, area foliar), meanwhile, T4 (CM-SJ) influenced the growth rate from 75 -120 days. The most effective consortia were not those that showed the highest percentage of root colonization, but rather those that obtained the greatest extraradicular mycelium length (CM-YAM); the most abundant genus *Glomus* was identified in all the consortia studied (18 gender), followed by *Acaulospora* (16 gender). It is concluded that autochthonous arbuscular mycorrhizal consortia show positive effects on the growth and development of cinchona plants at the nursery level, showing differentiated effects depending on the origin and partly the specificity with the species studied.

Keyword: native biodiversity, *Cinchona*, autochthonous fungi, mycorrhiza

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso importante para el desarrollo de todos los ecosistemas, donde se encuentran diversos microorganismos que juegan un papel importante para los recursos vegetales; dentro de los microorganismos se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), quienes cumplen roles importantes en el desarrollo agrícola y forestal (Gómez et al., 2019). Estos microorganismos, son considerados simbioses obligados puesto que necesitan de un hospedante para desarrollarse (Paredes et al., 2022), formando una simbiosis mutualista hasta con el 95% con plantas terrestres (Bustamante, 2022).

Las plantas se benefician con agua y nutrientes que los HMA captan y suministran desde el suelo, algunos nutrientes que las raíces son incapaces de absorber; una particularidad fundamental también es la capacidad de los hongos para suministrar elementos nutricionales como el fósforo (Vallejos et al., 2019). Por su parte los HMA se benefician de las plantas con el carbono y otros exudados que cumplen funciones nutricionales para dichos hongos (Álvarez et al., 2021).

Los beneficios de los HMA no solo son nutricionales, sino que también son potenciales mejoradores de suelos, gracias al aporte con glomalina (Hernández et al., 2018); estimulan en el crecimiento aéreo y radicular, reciclaje de nutrientes, ayudan a crear mecanismos de resistencia al ataque de microorganismos patógenos, sequías, acidez, productividad en ecosistemas naturales y sirven como una extensión de las raíces que le permiten a la planta a tener una mayor área de absorción (Apolo, 2012).

La gran mayoría son adaptables a medio ambiente en el momento de su aislamiento y colonizan a las plantas que crecen en un suelo con un pH de 2,9 – 9,2 es decir con más del 95% de plantas (Ronny, 2021). Por estas razones estos microorganismos son realmente eficientes con una alternativa sostenible en la agricultura moderna, permitiendo disminuir el uso de fertilizantes químicos hasta un 50% (Chipategua, 2022).

Existen investigaciones, donde se reportan los beneficios de los HMA en varias especies vegetales a nivel de vivero, pero durante los últimos años ha tomado auge en especies de la familia Rubiaceae, logrando incrementar el crecimiento y calidad de las plantas (Quiñones et al., 2020) así mismo, la acumulación de biomasa seca total (Vallejos et al., 2019); similar refieren Hernández et al. (2018), donde los HMA inoculados a café

lograron incrementar significativamente el crecimiento de plántulas, superando ampliamente al testigo; por su parte, del Aguila et al. (2018), manifiestan que para tener mejores resultados en café, es fundamental usar HMA autóctonos y procedentes de la misma especie a inocular. En otra investigación de Parra et al. (1990) manifiestan que los efectos generados en las plantas, pueden estar en función a la capacidad colonizadora de los hongos y expansión del micelio-extra radical.

La quina (*Cinchona* sp.) es una especie nativa, emblemática y con valor histórico para el Perú encontrándose en el escudo nacional, pertenece a la familia Rubiaceae y es un árbol distribuido a lo largo de los valles andinos de Sudamérica (Eras et al., 2019; Pucha et al., 2020; Huamán et al., 2019). Tiene un alto valor en el ámbito medicinal, encontrando una composición principal la quinina, muy usado antiguamente como agente antimalárico Pucha et al. (2020); Actualmente es una especie poco estudiada en nuestro país y es constantemente amenazada por la expansión de fronteras agrícolas y factores como los incendios forestales.

Su reproducción aún es materia de investigación, puesto que por ser una especie nativa, la generación de conocimiento del manejo silvicultural son escasos, reportando algunos trabajos realizados por Apolo (2012), donde puso a prueba el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la germinación de *Cinchona pubescens* a nivel de laboratorio, reportando que éstos, sí favorecen considerablemente la capacidad germinativa de las semillas. Similar, refieren Fernandez et al, (2022), donde probaron el efecto de las micorrizas arbusculares comerciales en la germinación y el crecimiento inicial de *Cinchona officinalis*, con resultados satisfactorios para la quina.

En el reporte de Sanchez et al, (2022), muestra el efectos de HMA junto con abonos orgánicos para el comportamiento vegetativo de *Cinchona officinalis*, donde muestran resultados favorables siendo los consorcios de San Jerónimo y Leymebamba junto con el humus de lombriz que tuvieron efecto en la velocidad de crecimiento de este árbol.

A pesar de los esfuerzos de las instituciones, con el afán de repoblar con quina en áreas degradadas, aprobaron diversos proyectos, pero, con resultados insatisfactorios, y que aún se adolecen de información técnico científico para pensar en un repoblamiento con especies nativas a gran escala en el Perú (Albán et al., 2020).

Frente a la problemática encontrada, el presente estudio busca generar metodologías eficientes y amigables con el medio ambiente, mediante el uso de micorrizas arbusculares,

procedentes de sitios con diferentes altitudes e inoculadas en ambientes fuera de su hábitat natural de la quina en la región Amazonas.

Teniendo en cuenta los anteriores reportes y problemática lo que se buscó fue: Evaluar el efecto de las micorrizas en el crecimiento y desarrollo de la quina; evaluar la capacidad simbiótica de los cinco consorcios micorrízicos en la tasa de crecimiento de plantas de quina y determinar la colonización, micelio extraradicular e identificación de géneros de los cinco consorcios micorrízicos arbusculares.

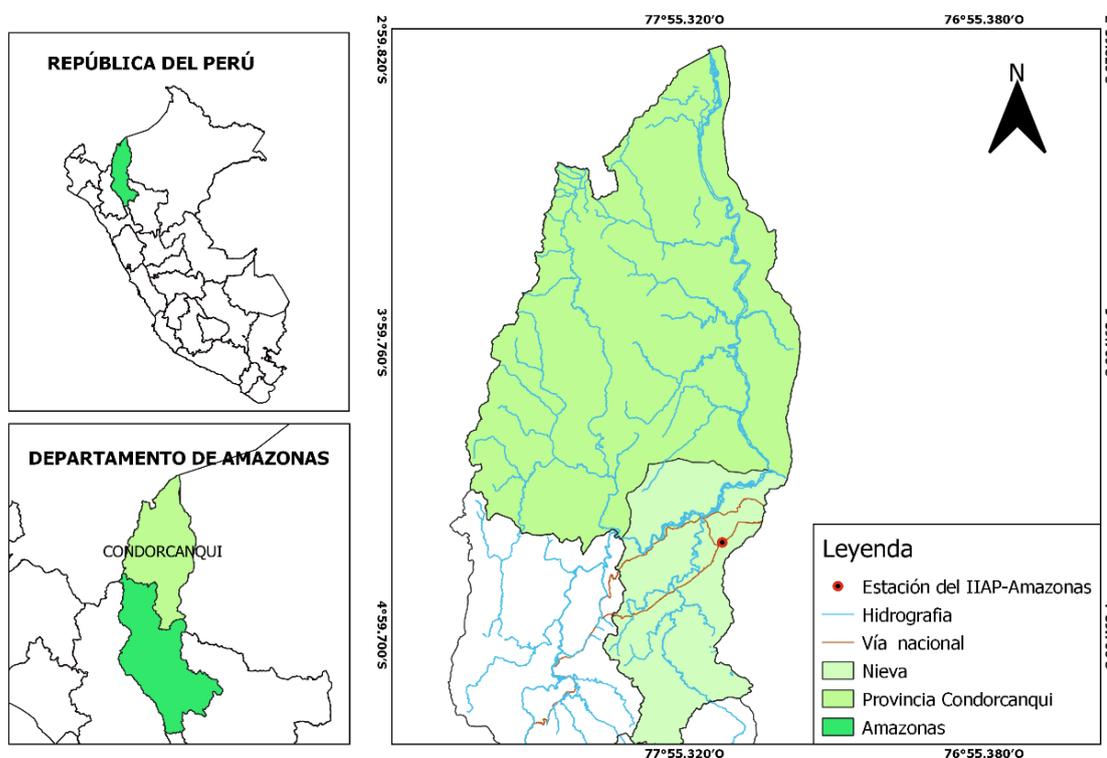
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del Área de Estudio

La investigación se realizó en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana de Amazonas, ubicada en el centro poblado de Nuevo Seasmidistrito de Nieva en la provincia de Condorcanqui-Región Amazonas; con una temperatura promedio de 24 °C y una humedad relativa (HR) de 36% en promedio con las siguientes coordenadas 4°37'40" S, 77°45'50" W a una altitud de 315 m.s.n.m.

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio en Nuevo Seasmi-Nieva- Condorcanqui.



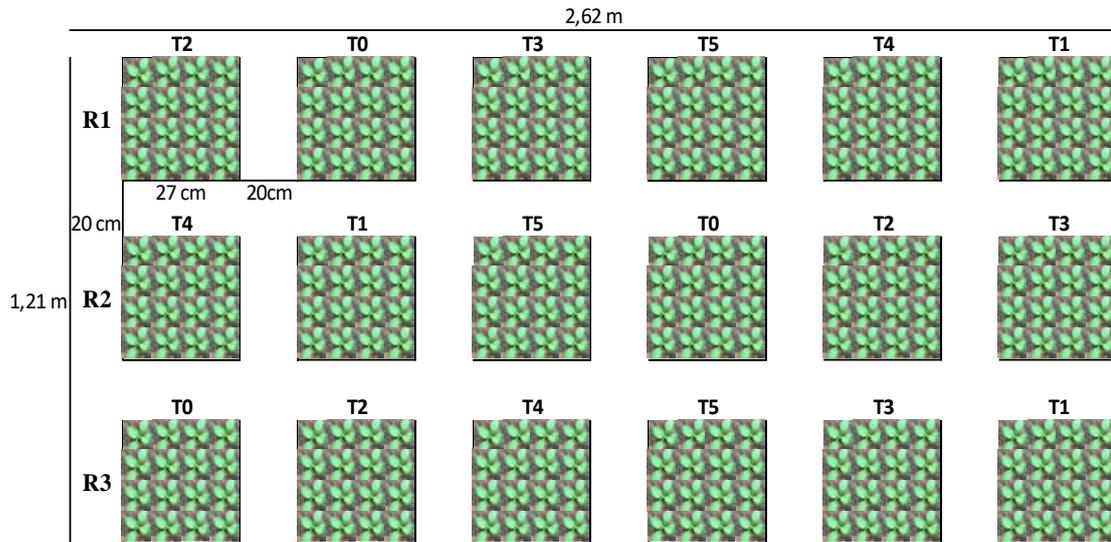
2.2. Diseño Estadístico de la Investigación

Características del Área de Estudio

La investigación fue ejecutada en el vivero de la estación del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana en la provincia de Condorcanqui, se trabajó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 3 repeticiones, 5 tratamientos de consorcios micorrízicos y un testigo, cada tratamiento compuesto por 16 plantas de quina (unidad experimental) con un total de 288 plantones de las cuales se valoraron 162 plantones de quina.

Figura 2

Esquema de la división de tratamientos bajo un DCA



Población y Muestra

Población: La población estuvo constituida por 288 plantones de *Cinchona* sp., las cuales fueron inoculados con cinco consorcios de hongos micorrízicos arbusculares.

Muestra: Para la obtención de la muestra se usó la fórmula para una población finita, resultando 162 plantones a evaluar.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + p * q}$$

Donde:

n: Tamaño de muestra (162)

N: Población objetivo (288)

z: 1.96 (si la seguridad es del 95%)

p: Proporción de las unidades que tiene las características: 50% o 0.5%

q: Proporción de las unidades que no tiene las características: 50% o 0.5%

e: Error= 5% o 0.05

Distribución de la Unidad Experimental en Vivero

Se trabajó en el vivero con las dimensiones de 5,0 x 6,0 x 4,0 m ancho, largo y altura respectiva; el techo estuvo cubierto con plástico de polietileno (agrofilm) y malla raschel; incluido un sistema de riego (microaspersión); donde se hizo el diseño usando rafia, wincha y yeso para la distribución de las bolsas.

Figura 3

Croquis de la distribución en el vivero de la estación del IIAP

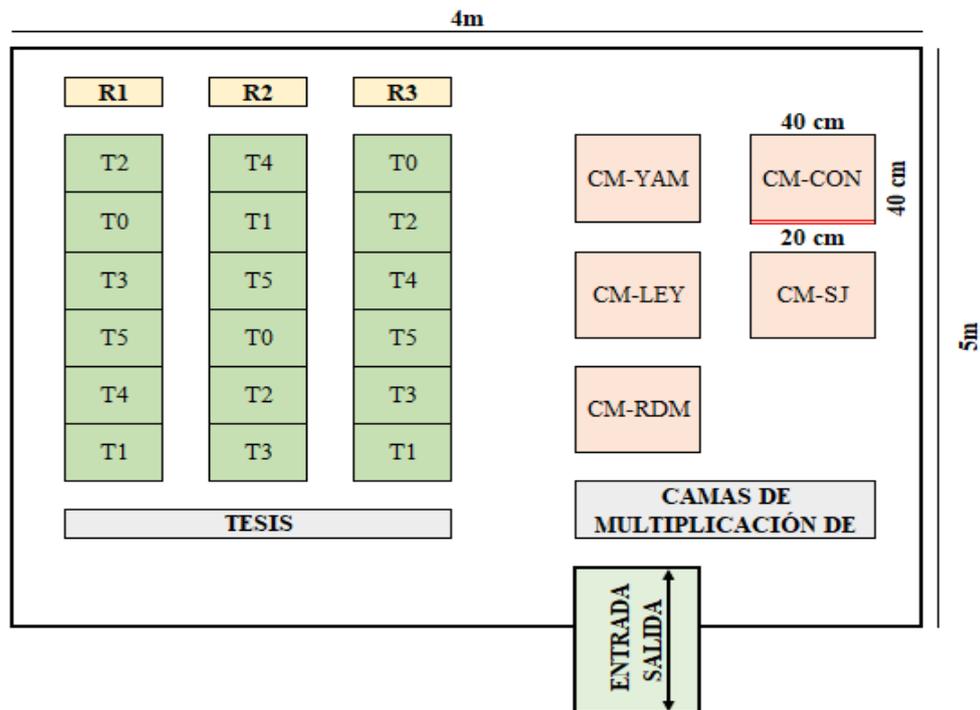


Tabla 1

Distribución de tratamientos con 5 consorcios micorrízicos arbusculares en quina

Tratamientos	Código de procedencia	Descripción
T0	Testigo	Testigo
T1	CM-RDM	Consorcio micorrízicos Rodríguez de Mendoza
T2	CM-YAM	Consorcio micorrízicos Yambrasbamba
T3	CM-LEY	Consorcio micorrízicos Leymebamba
T4	CM-SJ	Consorcio micorrízicos San Jerónimo
T5	CM-CON	Consorcio micorrízicos Conila

Modelamiento Aditivo Lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Para $i = 1, 2, 3, 4, 5$ y 6 consorcios y $j = 1, 2$ y 3 repetición en estudio.

Y_{ij} = El efecto en el crecimiento de la quina

μ = Efecto de la media general de los consorcios micorrízicos en el crecimiento de la quina en estudio.

τ_i = Efecto del consorcio i .

β_j = Efecto de la repetición j .

ε_{ij} = Efecto del error experimental en la unidad sujeta al consorcio micorrízicos i en la repetición j .

Tabla 2

Cuadro de análisis de varianza-ANOVA.

Fuente de variación	Grado de libertad
(FV)	(GL)
Tratamiento	$6-1=5$
Error	$287-5=282$
Total	$288-1=287$

2.3. Metodología

La investigación se desarrolló en dos fases: **la primera fase** corresponde a los objetivos específicos I y II, **la segunda** corresponde al objetivo específico III.

Fase 1. Objetivos específicos I y II. Evaluar la efectividad micorrízica en el crecimiento, desarrollo y tasa de crecimiento de plantas de quina.

a). Colecta de Consorcios Micorrízicos Arbusculares

Las zonas de colecta de consorcios micorrízicos arbusculares autóctonos de plantas de quina, estuvo dividido por cuatro provincias y cinco distritos: en la provincia Luya estuvieron los distritos San Jerónimo y Conila, en la provincia de Chachapoyas el distrito Leymebamba, en la provincia de Bongará el distrito de Yambrashamba, y en la provincia Rodríguez de Mendoza el distrito San Nicolás. Dichas zonas están ubicadas a diferentes pisos altitudinales que van desde los 1576 m.s.n.m. hasta 3054 m.s.n.m (Tabla 3). En

campo, se hizo la selección de 5 plantas adultas de quina por cada zona, presentando características como un tamaño mayor a dos metros, accesibilidad para realizar la colecta, distantes a otras especies que no estén en estudio y fuera de terrenos cultivados (Pérez, 2021). Luego se pasó a georreferenciarlos con ayuda de un GPS, considerando UTM, altitud y posición, se registró en una libreta de campo y posteriormente se pasó a Excel (Sánchez, 2017).

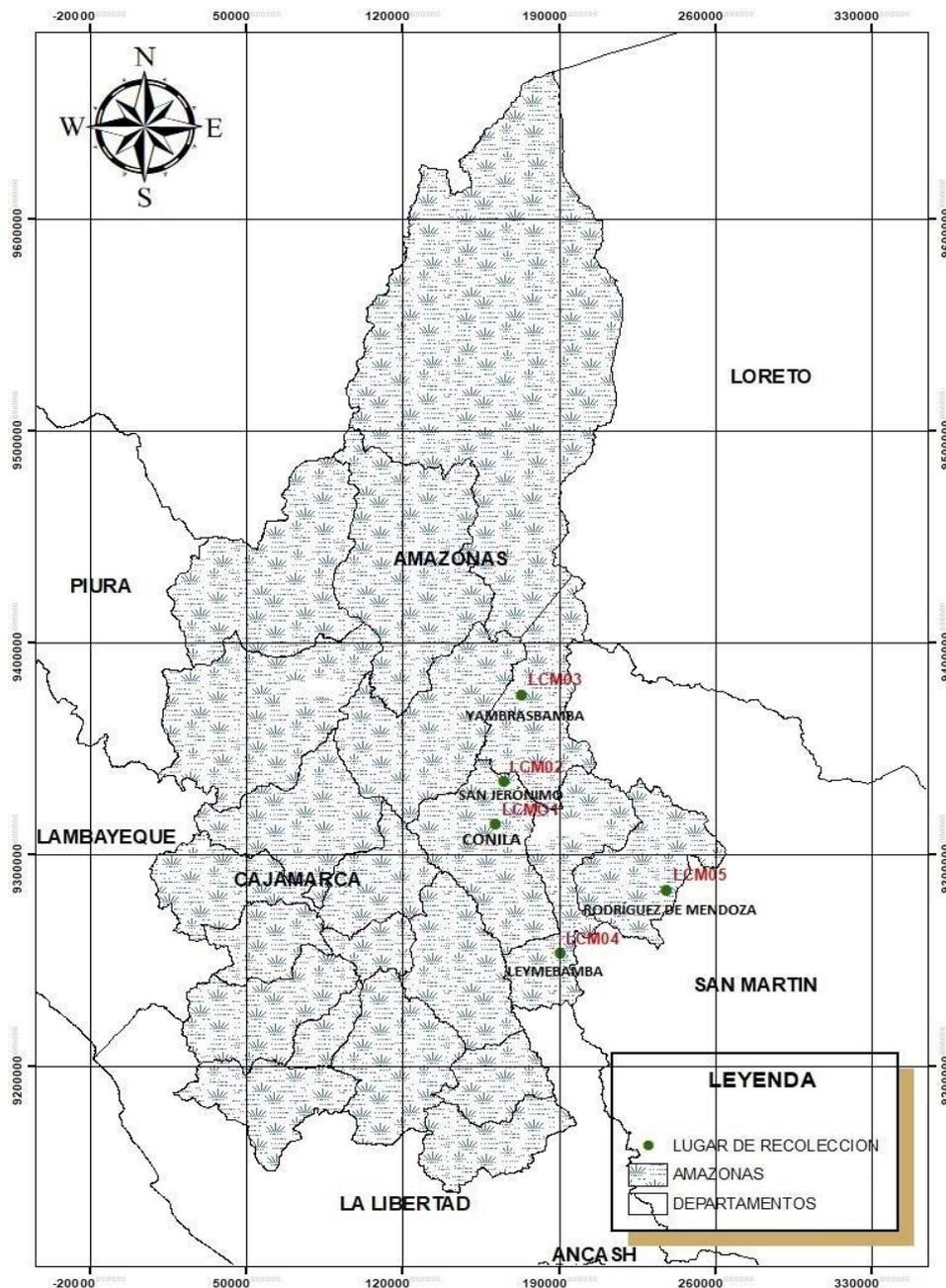
Para la colecta del suelo rizosférico, primero se realizó una limpieza de la parte superficial, retirando parte de la materia orgánica para colectar suelo puro y raíces; la colecta se realizó de tres puntos de la planta (forma de triángulo), a una distancia de 30 cm del tallo principal, la profundidad fue 20 cm, colectando 600 gramos por punto y 1800 g por planta, lo que correspondió a un total de 9 kg por zona muestreada. Las muestras fueron colocadas en bolsas plásticas con sus etiquetas respectivas y trasladadas al vivero (Vallejos et al., 2019).

Tabla 3*Georreferenciación de los puntos de colecta de la rizósfera de quina en la región Amazonas*

Código de muestra	Planta	Sector	Distrito	Provincia	COORDENADAS		Zona UTM	Altitud (m.s.n.m.)
					Este	Norte		
CM-RDM	1	San Nicolás	San Nicolás	Rodríguez de Mendoza	224716	9291449	18	1569
CM-RDM	2				224708	9291467		1574
CM-RDM	3				224709	9291480		1572
CM-RDM	4				224709	9291481		1592
CM-RDM	5				224708	9291447		1577
CM-SJ	1	San Jerónimo	San Jerónimo	Luya	829608	9335352	17	2592
CM-SJ	2				829597	9335303		2617
CM-SJ	3				829597	9335304		2617
CM-SJ	4				829603	9335305		2631
CM-SJ	5				829577	9335282		2620
CM-YAM	1	El Progreso	Yambrasbamba	Bongará	184255	9369507	18	2072
CM-YAM	2				184252	9369515		2082
CM-YAM	3				184254	9369504		2079
CM-YAM	4				184257	9369510		2079
CM-YAM	5				184257	9369511		2079
CM-LEY	1	Chilchos	Leymebamba	Chachapoyas	190030	9251856	18	2631
CM-LEY	2				190756	9253724		2547
CM-LEY	3				190032	9251859		2549
CM-LEY	4				190026	9251851		2543
CM-LEY	5				190074	9251916		2583
CM-CON	1	Dépul	Conila	Luya	826032	9314125	17	3043
CM-CON	2				826040	9314110		3054
CM-CON	3				826046	9314106		3057
CM-CON	4				826043	9314123		3048
CM-CON	5				826046	9314469		3069

Figura 4

Mapa de ubicación de la colecta de HMA en las cuatro provincias de la región Amazonas



b). Multiplicación de los Consorcios Micorrízicos Arbusculares Autóctonos en Vivero

Se construyeron cajones de madera con dimensiones de 40 x 40 x 20 cm largo, ancho y profundidad respectivamente, éstas fueron cubiertas con plástico para separar el inóculo con el suelo, evitando la contaminación con otros microorganismos.

Para el proceso de multiplicación se usó arena esterilizada con agua hervida 100° C por 10 min y por tres veces, depositando en un plástico limpio para drenar el exceso de agua, ésta fue mezclada con el suelo micorrízico en una proporción de 1:2 v/v respectivamente.

El suelo fue homogenizado y depositado en los cajones a una cantidad aproximado de 25 kg de cada consorcio. Es importante mencionar que para cada mezcla se limpió los materiales, mitigando así cualquier riesgo de contaminación en las muestras de estudio (Corazon et al., 2019).

Como cultivo hospedante se empleó el maíz, el cual fue sembrado en surcos de 5 cm de distancia y 2,5 cm de profundidad, colocando 20 semillas por surco y 100 por cajón; debido a su gran capacidad micotrófica de interactuar con las micorrizas y potenciar la esporulación. El proceso tuvo una duración de 80 días, divididas en dos fases: fase verde 60 días y en fase de agoste o estrés hídrico 20 días, esto favorece a que los HMA manifiesten toda su capacidad multiplicativa. Finalmente se realizó el corte de las plantas de maíz al ras del suelo (Alva, 2019); de la cual se colectó para la inoculación y 1 kg que fue enviado al laboratorio de aguas y suelos de la UNTRM-A, para la caracterización físico-químico (Tabla 23-Anexo)

c). *Recolecta, Preparación del Sustrato*

El sustrato fue franco arcilloso, colectado de una parcela de la comunidad de Peas-Nieva-Condorcanqui de una profundidad de 1,50 m y trasladado a vivero. Al mismo que fue esterilizado con agua hervida (100 °C), para eliminar otros microorganismos, se tamizó para retirar elementos no deseados y secado en un plástico limpio (Alva, 2019).

d). *Germinación de la Quina*

Las semillas son de tipo alada y muy pequeñas, según investigaciones realizadas por (Villar et al., 2018). Fueron obtenidas por **Biofertilización de plantas de quina (*Cinchona* sp.) con hongos micorrícicos arbusculares nativos, como mecanismo de adaptación y multiplicación masiva de la especie en condiciones diferentes a su hábitat natural, en la región Amazonas**”, con N° de contrato 103-2021 FONDECYT; colectadas por co-investigadora, la Ing. Fátima Marcelo Bazan, del bosque montano San Jerónimo situada a una altitud de 2600 m.s.n.m.

Pasaron por un proceso de secado en vivero, posteriormente a un tratamiento pre-germinativo (estratificación) en agua fría por 5 días, cambiando el agua a diario; la finalidad fue favorecer la imbibición y eliminar los alcaloides presentes en este material biológico, finalizando este proceso se colocó en papel Kraft para eliminar el exceso de humedad a temperatura ambiente.

El sustrato empleado para la germinación fue arena esterilizada con agua hervida (100 °C) por un lapso de 10 min, repitiendo el proceso por tres veces; se empleó este sustrato para prevenir la contaminación con otros microorganismos que pudieran afectar la investigación (Sánchez, 2017).

El sustrato estéril se colocó en una bandeja de polietileno con dimensiones (0,25 cm x 0,45 cm x 0,14 cm ancho, largo y profundidad respectivamente), donde fueron colocadas las semillas de manera uniforme, aplicando un riego pulverizado, finalmente fue tapada y colocada en un micro túnel a una temperatura promedio de 24 °C.

A los dos meses de instalado el almácigo, las plántulas germinadas se pasaron al proceso de aclimatación, para lo cual se realizó la apertura de la bandeja para la aireación y exposición a la luminosidad, el proceso se realizó paulatinamente por un periodo de 60 días hasta tener un plantín óptimo para el repique e inoculación de HMA.

e). Repique e Inoculación de los Consorcios Micorrízicos Arbusculares

Embolsado del Sustrato

Después de secar el sustrato, se hizo el llenado en bolsas de vivero (5 x 8 pulgadas), 48 bolsas fueron llenadas completamente (testigo), las demás fueron llenadas dejando aproximadamente 3 cm de espacio, para la facilidad de la inoculación de los hongos micorrízicos arbusculares, así mismo se hicieron las rotulaciones para facilitar la identificación de los consorcios (figura 2) (Sanchez et al., 2022). Finalmente se colectó 1 kg de sustrato y se envió al laboratorio de aguas y suelos de la UNTRM-A, para la caracterización físico-químico (Tabla 23-Anexo)

Inoculación con Hongos Micorrízicos

Se colectó cinco muestras de HMA, logrando tener 2,400 kg de cada muestra. La inoculación se realizó con 50 g de HMA por planta, de acuerdo a la (Figura 2) y los consorcios correspondientes, siempre cuidando la inocuidad para evitar la contaminación entre sí. Se realizó la mezcla homogéneamente por cada bolsa, pero esterilizando los materiales a usar, finalmente se humedeció con agua a capacidad de campo todas las bolsas.

El repicado de las plántulas fue en horas de la tarde, cuando bajó la intensidad solar; las plántulas fueron extraídas del táper donde fueron germinadas que contenían dos pares de hojas verdaderas y fueron sembradas en los sustratos embolsados, a una

profundidad de 1 cm. Luego se hizo una leve presión para poner en contacto las raíces de los plantines de quina con el suelo. Se aplicó un riego pulverizado a todas las plantas para prevenir el marchitamiento; finalmente una evaluación inicial de la altura de planta.

2.4. Evaluación de Variables

Se midió los indicadores de altura de planta y diámetro de tallo cada 15 días, la biomasa seca radicular y foliar, tamaño de raíz, número de raíz, tasa de crecimiento, área foliar, sobrevivencia y variables fúngicas fueron evaluadas al final.

a. Altura de Planta

La medición de la altura de planta se realizó desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, con una regla milimetrada de 30 cm, previamente desinfectado con alcohol para evitar las contaminaciones entre los tratamientos evaluados. El intervalo de evaluación fue cada 15 días durante cuatro meses después de inocular los hongos micorrízicos arbusculares (Hernández et al., 2020). Los datos fueron recopilados en un cuaderno de campo y sistematizados en Excel.

b. Diámetro de Tallo

La evaluación del diámetro de tallo, fue a una altura de 1 cm en la parte central de la base del tallo, empleando un vernier digital, el intervalo de evaluación fue cada 15 días (Ronny, 2021).

c. Materia Seca Foliar y Radicular

Se seleccionaron 36 plantones por tratamiento y estas fueron cortados con un bisturí, separando la parte radicular y foliar; el primer paso fue el lavado y secado; luego fueron colocados en sobres de papel para dejarlo en estufa a 60 °C por 72 horas; finalmente se realizó el pesado en una balanza analítica, obteniendo la materia seca de las plantas de quina (Sánchez, 2017).

d. Área Foliar

Se cortaron las hojas justo en la unión entre el pedúnculo y el tallo con un bisturí N° 20, las hojas fueron colocadas en una lámina blanca de papel en forma de zig-zag, dejando además una moneda de un sol (para calibración el software), luego se tomó dos fotografías para cada muestra. Las fotos fueron pasados por el software Image J y se determinó el área foliar (Fernandez et al., 2022)

e. Número de Raíces

Para conocer los números de raíces se contabilizó las raíces de las plántulas de quina al finalizar la investigación, en la que se contabilizó por tratamiento de acuerdo a Fajardo. (2015), los resultados fueron colocados a una libreta de campo, posteriormente pasados a un Excel.

f. Tamaño Radicular

Esta variable se evaluó tomando medidas de las raíces con un vernier digital, desde la base radicular hasta el ápice (Fernandez et al., 2022).

g. Tasa de Crecimiento

Con una regla milimetrada, se midió la altura de planta, desde la base hasta el ápice de la planta, con un intervalo de 15 días. El cálculo de esta variable se realizó con la siguiente ecuación (Sanchez et al., 2022):

Fórmula

$$Tc=(Hf-Hi) / (Tf-Ti)$$

Dónde:

Tc: tasa de crecimiento, expresada en cm/días

Hf: Altura final

Hi: Altura inicial

Tf: Tiempo final

Ti: Tiempo inicial

h. Sobrevivencia

Se contabilizó las plántulas vivas durante un intervalo de tiempo, y se estimó la sobrevivencia con la siguiente fórmula (Sanchez et al., 2022):

Fórmula

$$\text{Sobr.(\%)}=Pv/(N) \times 100$$

Dónde:

Sobr.: Sobrevivencia

Pv: Plantas vivas

N: Total de plantas instaladas por tratamiento

Fase 2: Objetivo Específico III. Determinar la colonización, micelio extraradicular e identificación de géneros de los cinco consorcios micorrízicos arbusculares

a. Porcentaje de Colonización Micorrízica

Se colectó 10 raíces finas de las plántulas de quina con tamaño mayor a 1 cm, se lavó con agua corriente y se colocó en tubos de ensayo con alcohol al 70 %, los tubos de ensayo fueron tapadas con cintas Parafilm para evitar la volatilización del alcohol. En laboratorio fueron conservadas en una refrigeradora hasta el proceso de tinción de raíces siguiendo el método de Phillips & Hayman. (1970) con algunas modificaciones por el IIAP.

-Tinción de Raíces

Las raíces seleccionadas fueron colocadas en el tubo de ensayo con la solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% de concentración en peso/volumen, cubriendo toda la muestra por un tiempo de 12 horas, luego se colocó en baño maría por 40 min, este proceso ayuda a aclarar el tejido cortical.

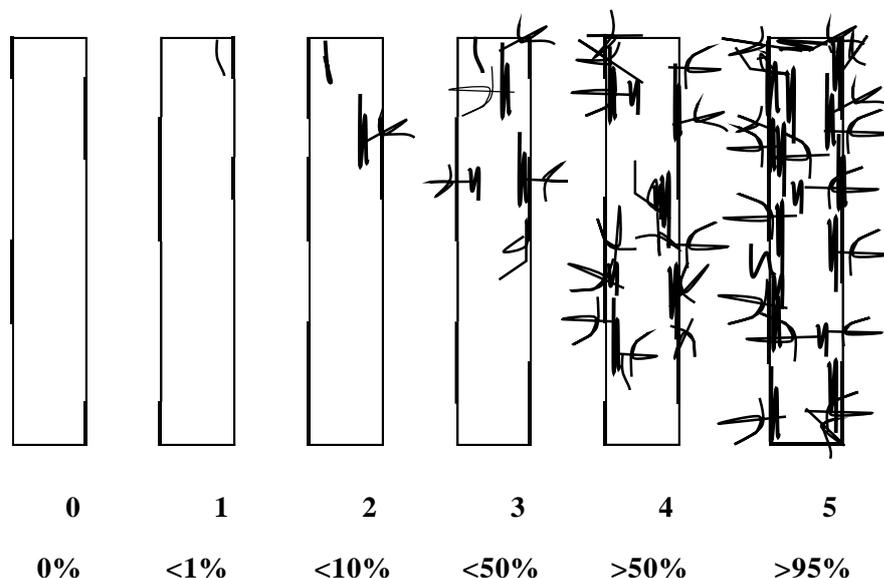
Luego se lavó las raíces con agua de caño por tres veces, se dejó con agua oxigenada por 60 min a temperatura ambiente, para el aclareo de los pigmentos de la raíz, ya cumplido el tiempo se lavó las raíces con vinagre blanco para acidificar las muestras y prepararlas para la tinción y se dejó por 10 min con el vinagre blanco o ácido acético. Se retiró la solución mencionada y se colocó el azul de trypano al 0,25% en una concentración peso/volumen y fueron colocadas en baño maría a 90 °C por 30 min. Luego se dejó enfriar las muestras y se lavó tres veces con vinagre al 50% para eliminar el exceso de la tinta, para culminar el proceso se dejó en el tubo de ensayo con vinagre y continuar con la estimación del grado de colonización micorrízica.

-Grado de Colonización Micorrízica.

Se usó el método de Trouvelot, et al., (1986). Las raíces fueron colocadas en una placa Petri, y se colocaron 30 fragmentos de raíz de 1 cm, cortadas con un bisturí N° 20 y estilete sobre una lámina portaobjeto montando entre sí. Luego de terminar los 30 fragmentos se colocó una gota de lactoglicerol para mantener húmedo las raíces y se cubrió con una laminilla cubreobjeto, se pasó a observar en el microscopio a 40 x y ser evaluadas con los siguientes porcentajes (Figura 5).

Figura 5

Niveles de colonización (0-5) de HMA según el grado, método de Trouvelot, et al. (1986)



Para el cálculo del porcentaje de colonización radicular se aplicó la siguiente fórmula:

$$\%M = \frac{(n1 + 5(n2) + 30(n3) + 70(n4) + 95(n5))}{N} \text{ (Total de segmentos observados)}$$

Donde: N= número de segmentos como 1, 2, 3, 4 y 5.

b. Longitud de Micelio Extraradical.

Se pesó 200 gramos de suelo empleado en la investigación por cada tratamiento, se homogenizó por cada tratamiento y se hizo el respectivo secado en un papel bond A4 a temperatura ambiente, ya secados se guardaron en bolsa herméticas con su etiquetada correspondiente. En el laboratorio se realizó el proceso de tinción de micelio extraradical, siguiendo la metodología de (Sanchez et al., 2022), con algunas modificaciones por el IIAP.

Tinción de Micelio Extraradical

Los sustratos con HMA empleado en la investigación por cada tratamiento, fueron evaluados en el laboratorio IIAP Amazonas siguiendo las técnicas del gel semisólido y cuantificación de intersección de cuadrantes (Robles, 2009), mencionado a continuación.

Se pesó una sub muestra de 1g de suelo previamente secado a temperatura ambiente y colocado en un vaso de precipitación 200 ml, agregando vinagre y dejando por 10 min, para separar los agregados del suelo y acidificar los segmentos de micelio, luego

agregamos 20 ml de solución de Pelikan al 10% que esta disuelto en ácido acético, dejamos a temperatura ambiente por 30 min, continuando realizamos 100 ml con agua destilado y colocando las muestras en baño maría a 90 °C por un tiempo de 90 min moviendo constantemente. Para eliminar las fracciones más finas del suelo, se pasó a tamizar con diferentes mallas (250 µm y 38 µm), luego se depositó en el vaso de precipitación el suelo restante en el tamiz con 30 ml de agua destilada y se prosiguió a colocar en baño maría a 90 °C por un tiempo de 1 min y posterior enrazando a 100 ml (70 ml de agar-agar al 0,64%) dejando en baño maría por 5 min. Logrando así una concentración final de 0,45% de la solución, en baño maría se agito con una jeringa de 10 ml para homogenizar de la cual fue tomado 10 ml y colocado en la placa Petri, en la base cubierta con rejillas de papel cuadriculada de 0,5 cm², para evaluar la cuantificación de hifa-líneas.

-Estimación de la Longitud de Micelio Extraradical

Las muestras se observaron en un microscopio estereoscopio a un aumento de 5X, con ayuda de un contómetro se contaron la intersección de hifas de HMA con las líneas en la base de placa Petri, se realizó el conteo en toda el área de la placa, movilizandov verticalmente y ordenado. Los resultados se trasformaron a longitud de micelio por unidad de peso de suelo, con la fórmula de (Newman, 1966).

Para el cálculo de micelio se empleó la siguiente fórmula:

Fórmula

$$R = \pi AN / 2H$$

R= Longitud de micelio por unidad de peso de suelo

A= Área de la placa

N= Número de intersecciones

H= Longitud total de las líneas de la placa (cm)

c. *Identificación de Hongos Micorrízicos Arbusculares*

Se recolectó una muestra de 540 gramos de suelo seco empleado en la investigación por cada tratamiento, éstos fueron colocados en una bolsa hermética y debidamente rotulados.

La extracción de esporas de los suelos micorrizados, se realizó con el método del tamizado húmedo y decantación, según Gerdemann y Nicolson. (1963); el proceso del método consistió en pasar la muestra de suelo micorrizada en agua corriente por diferentes tamices de diámetro descendente (250 y 38) micras, luego se aisló con sacarosa al 80% 10 ml y 20% 20 ml en un tubo falco de 50 ml, con la ayuda de una centrífuga 4500 revoluciones por minuto (Reyes et al., 2020). Luego se pasó a tamizar con 38 μm y colocado en la placa Petri con la rotulación respectiva, fueron evaluadas en un estereoscopio.

Se clasificaron por forma, color y tamaño y con el método de Schenck y Pérez. (1990), se extrajo las esporas de los consorcios micorrizada con una micro pipeta, luego fueron montadas en láminas portaobjetos adicionando los reactivos de PVLG y PVLG + MELZER, para el proceso de identificación morfológica a nivel de género, con el manual del INVAM, con sus respectivos códigos (Peña et al., 2007). Continuando se observó con ayuda del microscopio las paredes germinales (100x) y sus capas que nos ayudó a identificarlas a nivel de género, tomando en cuenta las siguientes características como: color, tamaño y forma y con el apoyo del Ing. Mike Corazón Guivin, especialista en HMA (Tapia et al., 2008).

2.5. Análisis Estadístico de Datos

Para los objetivos específicos; los datos recopilados en el vivero se registraron en una libreta de campo, transferido a un Excel. Cuando los datos tomaron normalidad y una varianza de homogéneas se hizo el análisis de varianza ($p < 0.05$), y sometidos a la prueba de Tukey con nivel de significancia de ($\alpha = 5\%$). Procesados en el software estadísticos Infostat.

III. RESULTADOS

FASE 1: Objetivos Específicos I y II. Evaluar la Efectividad Micorrízica en el Crecimiento, Desarrollo y Tasa de Crecimiento de Plantas de Quina.

Altura de planta (cm)

En la Tabla 4, se presenta resultados del análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable altura de planta, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en los tratamientos de plantas de quina asociadas a hongos micorrízicos arbusculares.

Tabla 4

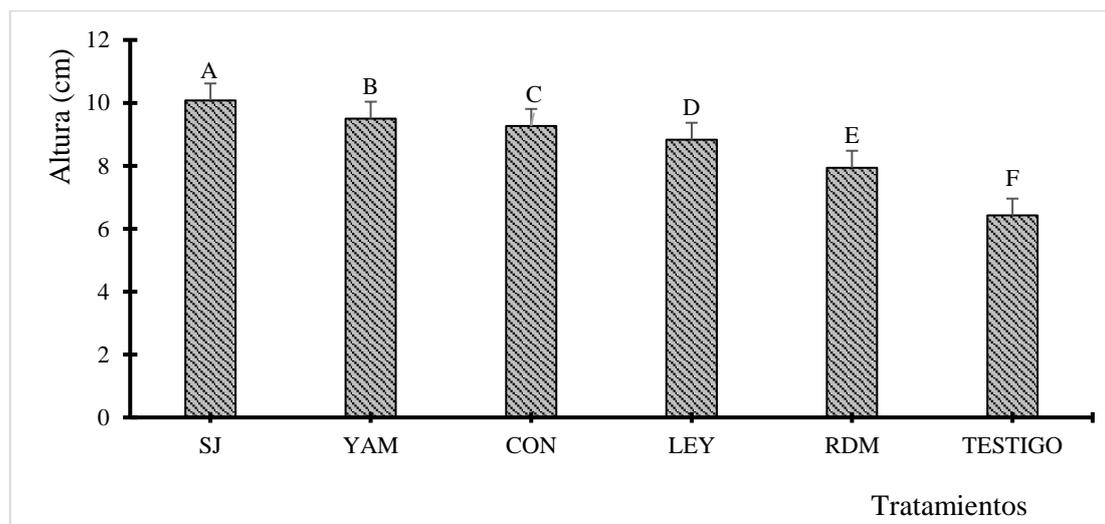
Análisis de varianza para altura de los plántones de quina

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	25,99	5	5,198	49244,3	0,0001**
Error	0,0013	12	0,0001		
Total	25,9913	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $< 0,01$), *=Significativo (p -valor $< 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 6

Test post-hoc de Tukey (5%) para altura de plántones de quina inoculados con cinco consorcios micorrízicos autóctonos



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$). Donde se puede apreciar que el tratamiento con mayor altura es el T4 CM-SJ (Consortio micorrízico San Jerónimo) con una altura de 10,08 cm, seguido el T2 CM-YAM (Consortio micorrízico Yambrasbamba), T5 CM-C (Consortio micorrízico Conila) y T3 CM-LEY (Consortio micorrízicos Leymebamba) los tratamientos que fueron micorrizadas tuvieron mayor altura en comparación al T0.

Diámetro de tallo (mm)

En la Tabla 5, se muestra los resultados del análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable diámetro de tallo, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en la asociación de HMA con plantas de quina.

Tabla 5

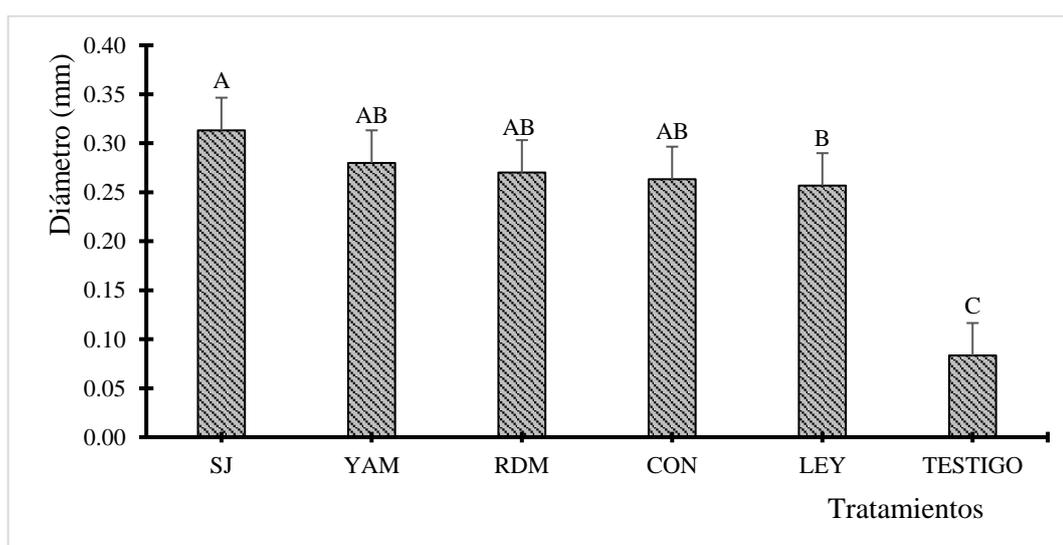
Análisis de varianza para el diámetro de los plántones de quina

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	0,099	5	0,0199	51,11	0,0001**
Error	0,005	12	0,0004		
Total	0,104	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $< 0,01$), *=Significativo (p -valor $< 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 7

Test post-hoc de Tukey (5%) para diámetro de plántones de quina, bajo la asociación de los HMA.



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba test post hoc Tukey ($\alpha = 0,05$); Se observa que el tratamiento T4 CM-SJ (Consorcio micorrízico San Jerónimo) tiene el mayor diámetro de tallo = 0,31 mm, seguido el T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrasbamba); T1 CM-RDM (Consorcio micorrízico Rodríguez de Mendoza), T5 CM-C (Consorcio micorrízico Conila) y el T3 CM-LEY (Consorcio micorrízicos Leymebamba) con valores consecutivos y descendentes de 0,28- 0,26 mm que fueron micorrizada, en comparación al testigo fueron mejores.

Materia Seca foliar y radicular (mg)

En la Tabla 6, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable de materia seca foliar, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas con la asociación de los HMA autóctonos.

En la Tabla 7, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable de materia seca radicular, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en asociación de HMA con plantas de quina.

Tabla 6

Análisis de varianza para materia seca foliar de los plantones de quina con HMA

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	219514,48	5	43902,9	204,24	0,0001**
Error	2579,44	12	214,95		
Total	222093,92	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $<0,01$), *=Significativo (p -valor $<0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Tabla 7

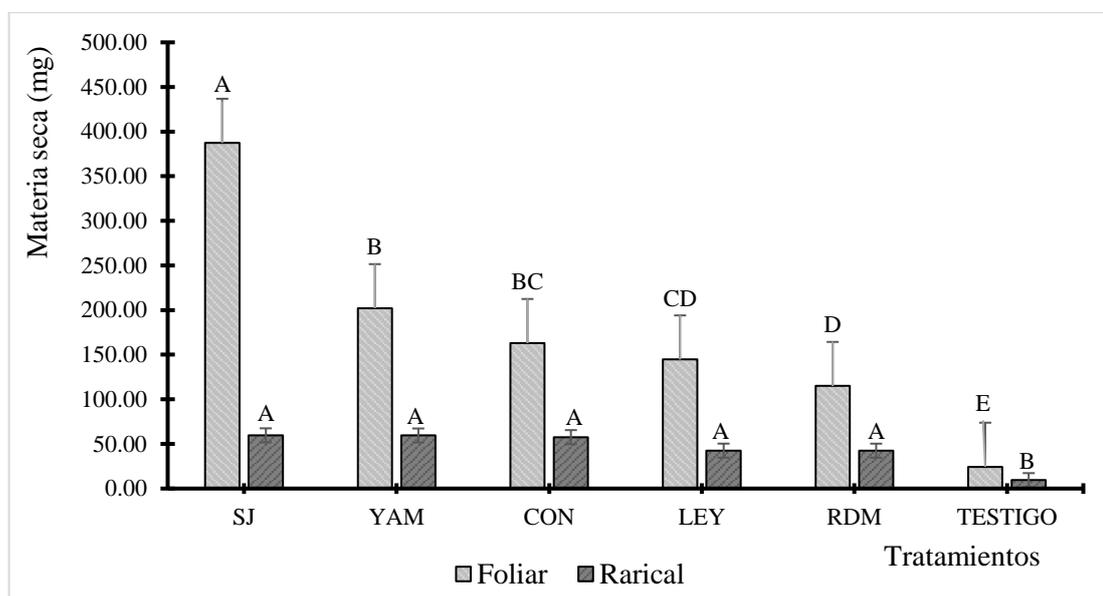
Análisis de varianza para materia seca radicular de planta de los plantones de quina inoculados

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	5581,93	5	1116,39	8,28	0,0014**
Error	1618,41	12	134,87		
Total	7200,35	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $<0,01$), *=Significativo (p -valor $<0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 8

Test post-hoc de Tukey (5%) para materia seca foliar y radical de plántones de quina asociado con HMA



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY-Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); para la materia seca foliar y radical de quina. En la Figura (8) se observa que los mejores tratamientos de materia seca foliar y radical es el T4 CM-SJ (Consorcio micorrízico San Jerónimo) con el valor (T4= 387,40; 59,63 mg), continuando con el T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrasbamba) con el valor (T2= 202, 10 mg); sin embargo los tratamientos T5 CM-C (Consorcio micorrízico Conila), el T3 CM-LEY (Consorcio micorrízicos Leymebamba) y T1 CM-RDM (Consorcio micorrízico Rodríguez de Mendoza), tienen alto valor (T5 = 163,03; 57,63 mg; T3 = 144,63; 42,50 mg; T1 = 114,93; 42,43 mg) en comparación al testigo (T0 = 24,40; 9,43 mg). Sin embargo, la variable de materia seca foliar tuvo pesos más altos que la variable de materia seca radical.

Área foliar (cm²)

En la Tabla 8, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable de área foliar, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en comparación a los tratamientos en estudios con HMA.

Tabla 8

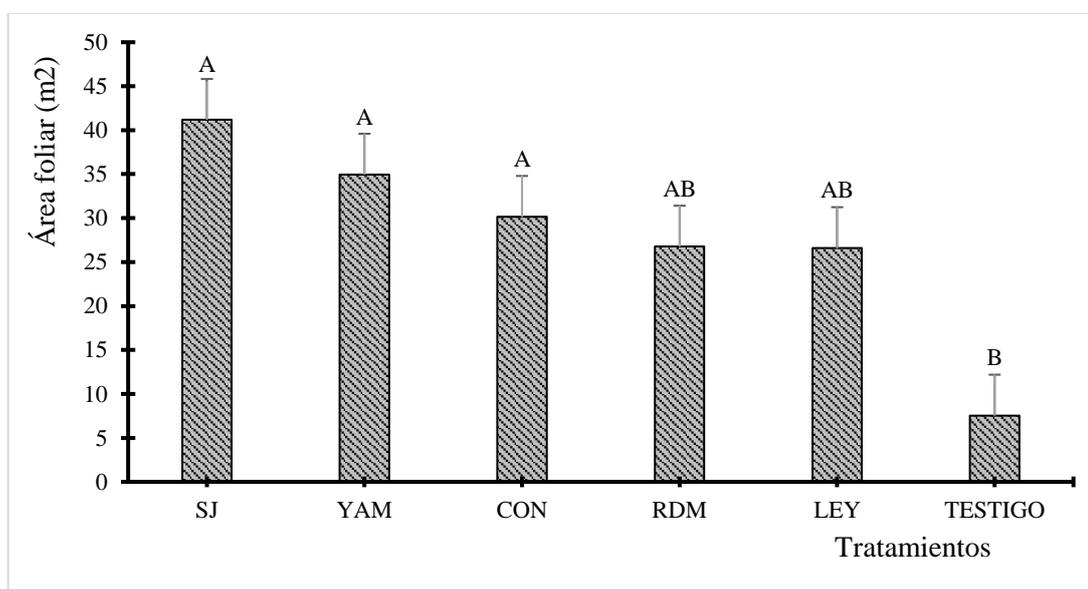
Análisis de varianza para área foliar de los plantones de quina asociados con HMA

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	1943,8	5	388,76	5,77	0,0061**
Error	808,54	12	67,38		
Total	2752,34	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $<0,01$), *=Significativo (p -valor $<0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher.

Figura 9

Test post-hoc de Tukey (5%) para área foliar de plantones de quina asociado con HMA



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrabamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas; según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); para el área foliar de quina. Se muestra que el tratamiento T4 CM-SJ (Consorcio micorrízico San Jerónimo) tiene el alto valor T4 = 41,16 cm², seguido el T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrabamba) con el valor T2 = 34,93 y T5 CM-C (Consorcio micorrízico Conila), T1 CM- RDM (Consorcio micorrízico Rodríguez de Mendoza) y el T3 CM-LEY (Consorcio micorrízicos Leymebamba) con valores descendentes de (T5=30,14; T1=26,75; T3=26,59) cm² que fueron micorrizada y en comparación al testigo T0= 7,54 cm².

Número de raíz

En la Tabla 9, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable de número de raíz, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas con los tratamientos micorrizados con plantas de quina.

Tabla 9

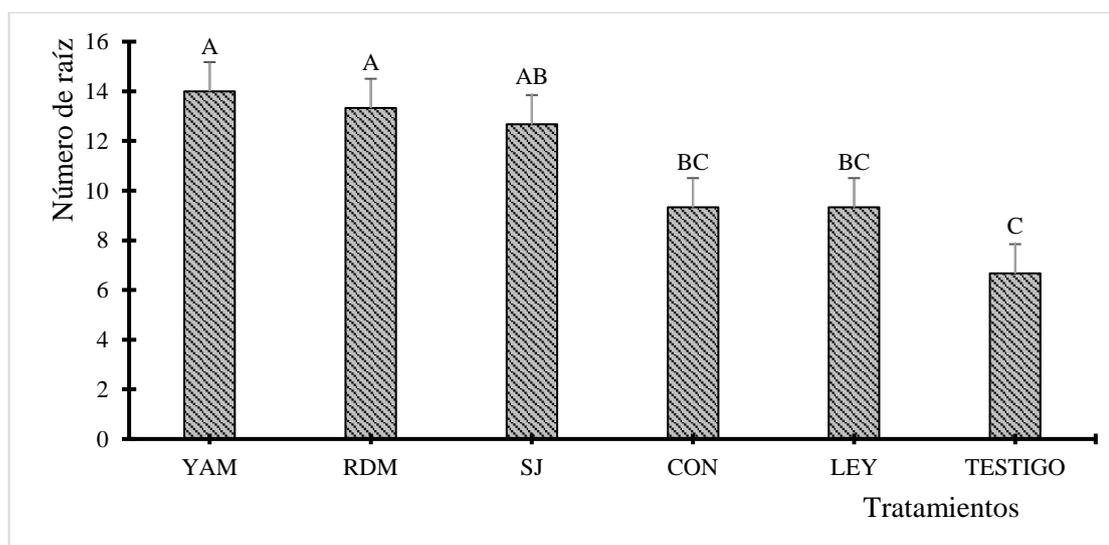
Análisis de varianza para número de raíz de los plantones de quina inoculados

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	124,44	5	24,89	12,8	0,0002**
Error	23,33	12	1,94		
Total	147,78	17			

Nota. **=Altamente significativo ($p\text{-valor} < 0,01$), *=Significativo ($p\text{-valor} < 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 10

Test post-hoc de Tukey (5%) para número de raíz de plantones de quina asociados con HMA



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$) para el número de raíz de quina. En la Figura se, aprecia que el tratamiento T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrasbamba) con el valor más alto $T2 = 14$ raíces, continuando con T1 CM-RDM (Consorcio Micorrízico Rodríguez de Mendoza) con $T1 = 13$ raíces y T4 CM-SJ (Consorcio micorrízico San Jerónimo) tiene

el valor T4 = 12 raíces y en comparación al testigo T0= 6 las que son micorrizadas tuvieron más número de raíces.

Tamaño de raíz (cm)

En la Tabla 10, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable de tamaño de raíz, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en comparación a los tratamientos en estudios asociados con HMA.

Tabla 10

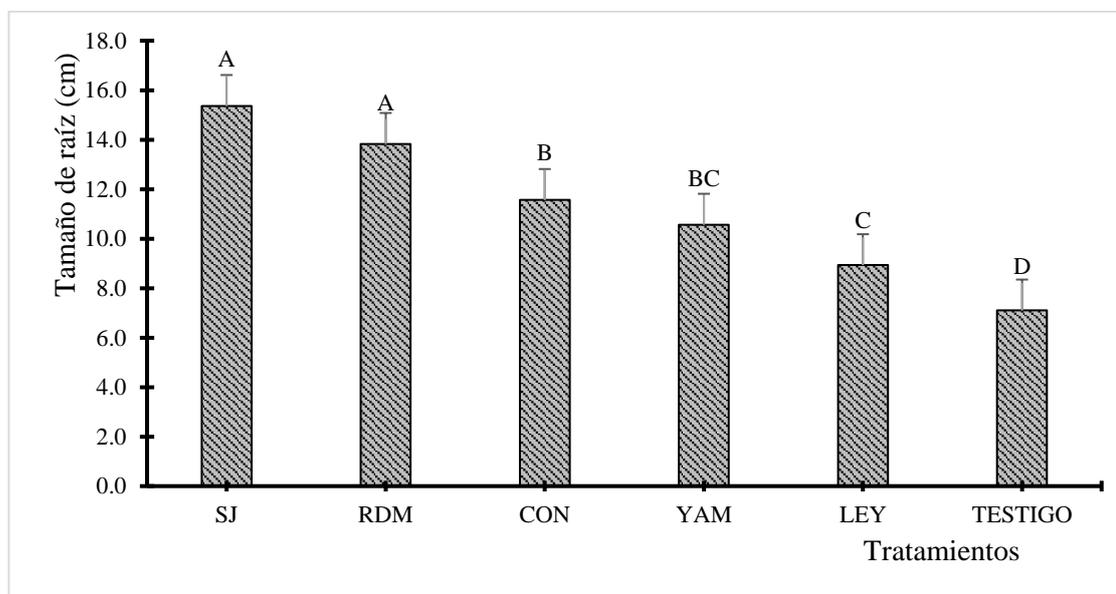
Análisis de varianza para el tamaño de raíz de los plántones de quina asociados con HMA

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	140,32	5	28,06	78,08	0,0001**
Error	4,31	12	0,36		
Total	144,64	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $< 0,01$), *=Significativo (p -valor $< 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 11

Test post-hoc de Tukey (5%) Tamaño de raíz de plántones de quina de los diferentes tratamientos inoculados con HMA



Nota. CM- (SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas, según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); en la Figura, se muestra que el tratamiento con el valor

más alto es T4 CM-SJ (Consortio micorrízico San Jerónimo) T4 = 15,36 cm, seguido el T1 CM-RDM (Consortio micorrízico Rodríguez de Mendoza) T1= 13,83; T5 CM-C (Consortio micorrízico Conila); T2 CM-YAM (Consortio micorrízico Yambrasbamba) y T3 CM-LEY (Consortio micorrízicos Leymebamba) con los valores altos en comparación al testigo T0= 7,1 cm.

Tasa de crecimiento

En la Tabla 11, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable tasa de crecimiento, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas con los tratamientos en estudios asociados con HMA

Tabla 11

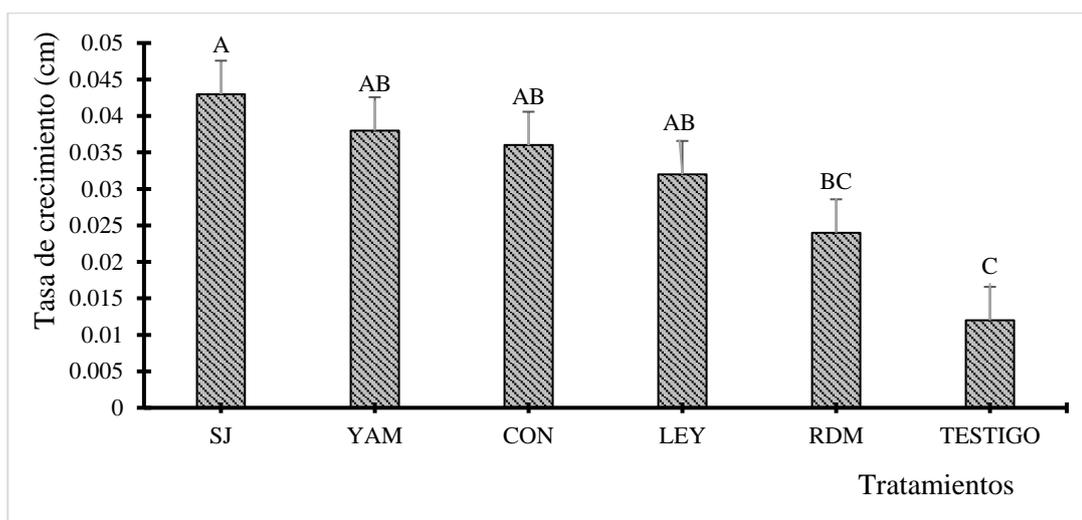
Análisis de varianza para tasa de crecimiento de los plántones de quina con HMA

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	0,002	5	0,00037	14,4517	0,0001
Error	0	12	0,00003		
Total	0,002	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $< 0,01$), *=Significativo (p -valor $< 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 12

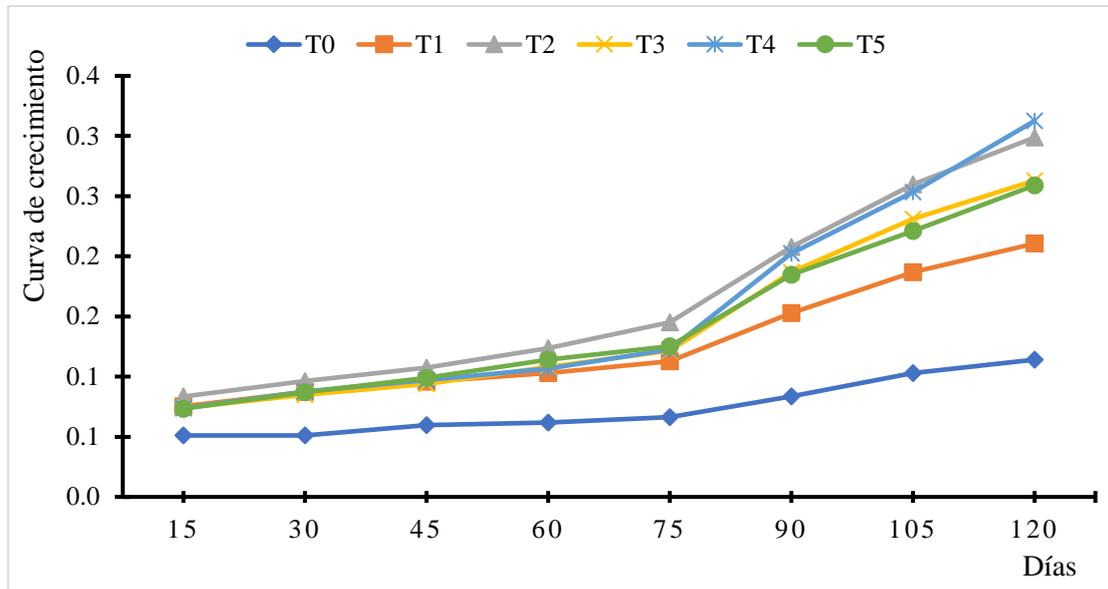
Test post-hoc de Tukey (5%) para tasa de crecimiento de las plantas de quina en vivero, bajo efecto de HMA



Nota. CM- (SJ-San jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Figura 13

Curva de crecimiento de los plantones de quina en vivero, bajo efecto de hongos micorrízicos arbusculares (cm/días)



Las medidas con letras diferentes indican diferencias significativas:

Según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); en la Figura se muestra que el tratamiento T4 CM-SJ (Consortio micorrízico San Jerónimo) tiene el alto valor T4 = 0,043 cm/días, seguido el T2 CM-YAM (Consortio micorrízico Yambrasbamba) con el valor T2 = 0,038 cm/días, y T5 CM-C (Consortio micorrízico Conila); T1 CM-RDM (Consortio micorrízico Rodríguez de Mendoza); el T3 CM-LEY (Consortio micorrízicos Leymebamba) con valores descendentes de (T5=0,036; T3=0,032; T1=0,024) cm/día que fueron micorrizada y en comparación al testigo T0= 0,01 cm/día.

En la Figura 13 muestra la curva de crecimiento, donde se observa que el T4 tuvo un crecimiento eficiente en los días 75 -120 días, sin embargo, el consorcio T2 en el 75-105 día, siendo el segundo mejor en crecimiento como también los demás tratamientos, mientras los días iniciales el crecimiento fue lento desde su repique, en comparación al testigo su crecimiento fue muy lento.

Sobrevivencia (%)

En la Tabla 12, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable porcentaje de crecimiento, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas en los tratamientos en estudio con HMA.

Tabla 12

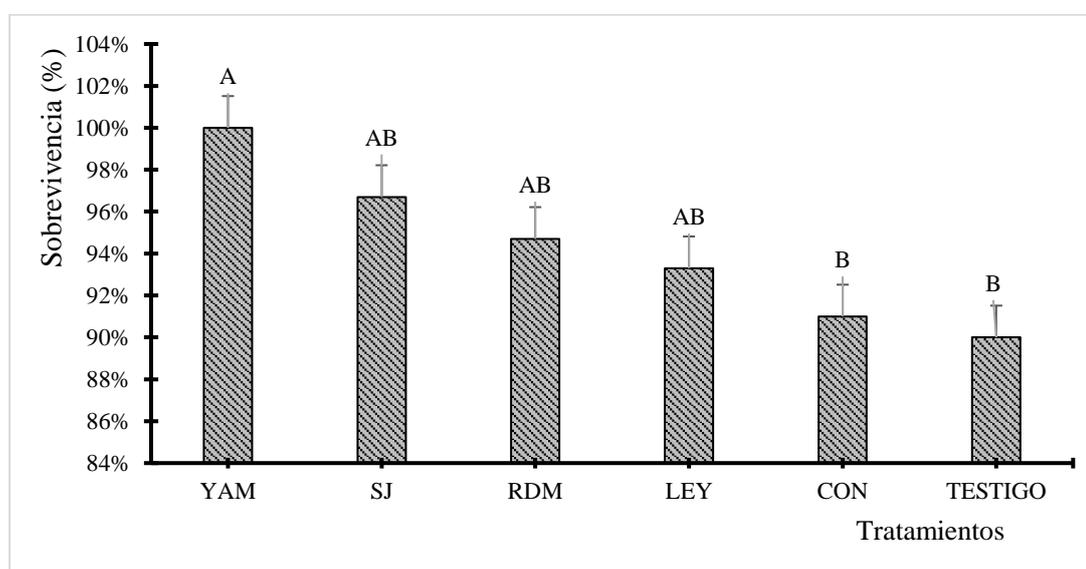
Análisis de varianza para la sobrevivencia de los plantones de quina inoculado con HMA

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	0,021	5	0,0041	5,364	0,0081**
Error	0,009	12	0,0008		
Total	0,03	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $<0,01$), *=Significativo (p -valor $<0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 14

Test post-hoc de Tukey (5%) para sobrevivencia en los plantones de quina micorrizada



Nota. CM-(SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo) Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); en la Figura se muestra que el tratamiento T2 CM-YAM (Consortio micorrízico Yambrasbamba) tiene el valor alto YAM= 100%, seguido T4 CM-SJ (Consortio micorrízico San Jerónimo) tiene el alto valor T4 = 97%, luego T1 CM-RDM (Consortio micorrízico Rodríguez de Mendoza) con un valor de T1= 95 %, los tratamientos que fueron micorrizadas tienen una sobrevivencia alta con más del 90% y en comparación al testigo T0= 90% que es el más bajo porcentaje.

Fase 2: Objetivo Específico III. Determinar la colonización, micelio extraradicular e identificación de géneros de los cinco consorcios micorrízicos arbusculares

Porcentaje de colonización (%)

En la Tabla 13, se presenta el análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable porcentaje de colonización, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativamente en los tratamientos investigados asociado con HMA.

Tabla 13

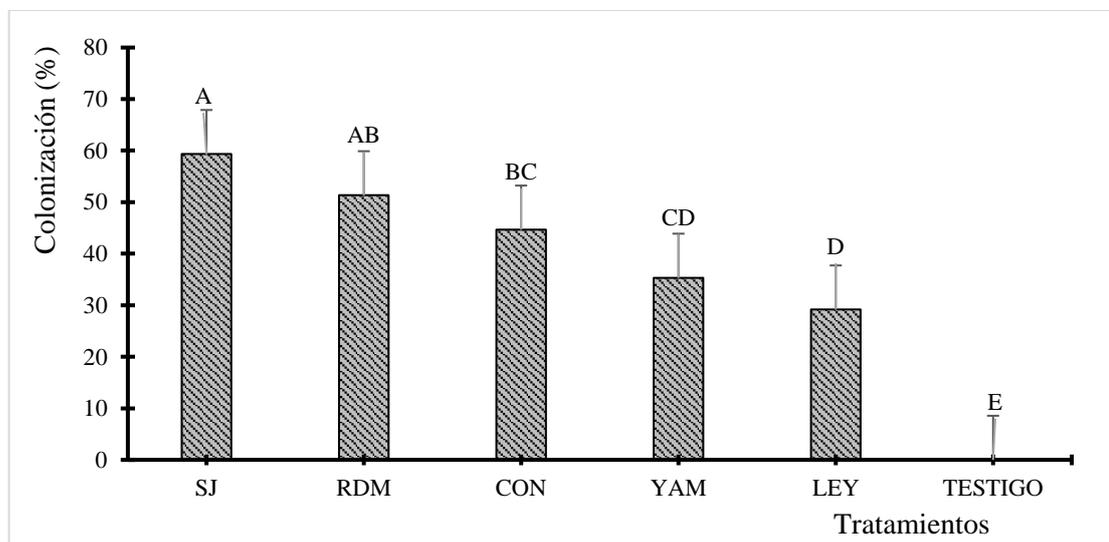
Análisis de varianza para el porcentaje de colonización

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	6586,07	5	1317	66,182	0,0001
Error	238,83	12	20		
Total	6824,9	17			

Nota. **=Altamente significativo (p -valor $< 0,01$), *=Significativo (p -valor $< 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 15

Test post-hoc de Tukey (5%) para porcentaje de colonización de los HMA presentes en los plántones de quina



Nota. CM-(SJ-San Jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY- Leymebamba, Testigo) Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

La Figura 14 muestra las letras diferentes difieren estadísticamente entre sí, con la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); para la medida de la variable porcentaje de colonización de hongos micorrízicos arbusculares en las raíces de quina, siendo el mejor tratamiento el T4 CM-SJ (Consortio micorrízico San Jerónimo) con alto valor = 59,33%,

continuando con T1 CM-RDM (Consortio micorrízico Rodríguez de Mendoza) con el valor = 51,33%, mientras que los T5 CM-C (Consortio micorrízico Conila), T2 CM-YAM (Consortio micorrízico Yambrasbamba) y T3 CM-LEY (Consortio micorrízico Leymebamba) están debajo de 45%, en comparación al testigo estuvieron dentro de los mejores.

Longitud de micelio extraradical (cm)

En la Tabla 14, se presenta resultados del análisis de varianza ($p < 0,05$) para la variable longitud de micelio extraradical, donde se observa que existe diferencias estadísticas significativas, entre los tratamientos asociados con HMA en plantas de quina.

Tabla 14

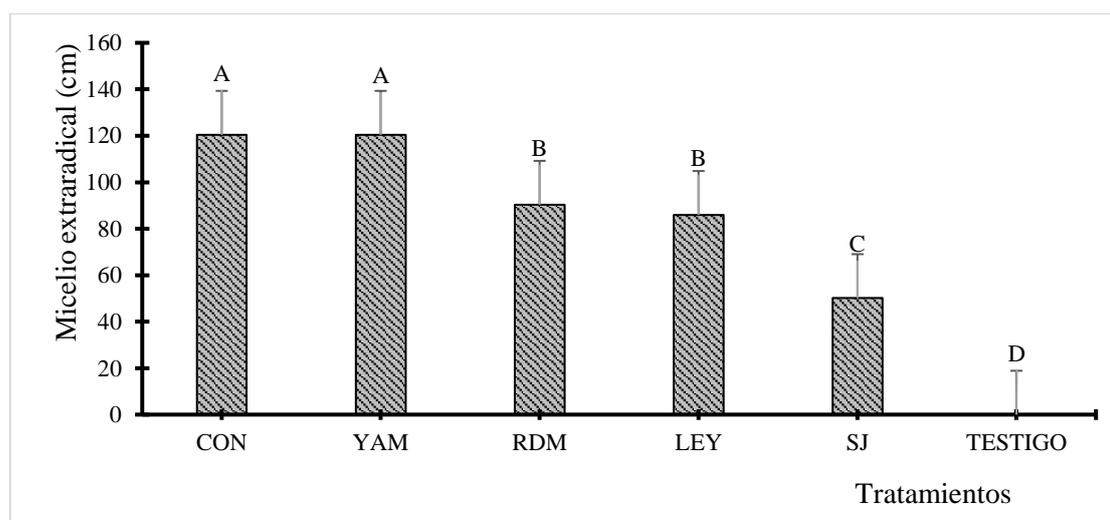
Análisis de varianza para longitud de micelio extraradical de los plantones de quina

F.V	SC	Gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	32034,66	5	6406,93	108,13	0,0001**
Error	711,03	12	59,25		
Total	32745,69	17			

Nota. **=Altamente significativo ($p\text{-valor} < 0,01$), *=Significativo ($p\text{-valor} < 0,05$), F.V: Fuente de variación; SC: Suma de cuadrados; gl: Grado de libertad; CM: Cuadrado medio; F: Fisher

Figura 16

Test post-hoc de Tukey (5%) para longitud de micelio extraradical presentes en los plantones de quina



Nota. CM- (SJ-San jerónimo, RDM- Rodríguez de Mendoza, CON- Conila, YAM-Yambrasbamba, LEY-Leymebamba, Testigo). Letras diferentes manifiestan diferencias significativas (Tukey, $\alpha = 0,05$).

Según la prueba del test post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$); en la Figura se muestra que el tratamiento T5 CM-CON (Consorcio micorrízico Conila) y T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrasbamba); Tuvieron mejores resultados con alto valor =120,46 cm, seguido T1 CM-RDM (Consorcio micorrízico Rodríguez de Mendoza), T3 CM-LEY (Consorcio micorrízicos Leymebamba) y T4 CM-SJ (Consorcio micorrízico San Jerónimo) tiene el valores descendentes de (T1=90,34; T3= 85,97 y T4=50,19) cm que fueron micorrizada y en comparación al testigo T0= 0,00 cm que no tuvo micelio.

Tabla 15

Análisis de correlación con las variables morfológicas y fúngicas

CORRELACIÓN		Altura	Diámetro	Materia seca foliar	Área foliar
Biométricas	TR	0,61	0,75	0,73	0,66
	NR	0,56	0,69	0,53	0,63
	MSR	0,84	0,80	0,64	0,76
Fúngica	Porcentaje de colonización	0,75	0,86	0,72	0,76
	Longitud de micelio extraradical	0,61	0,68	0,69	0,46

Nota. A: altura; D: diámetro; T.R tamaño de raíz; N.R: número de raíz A.F: área foliar; M.S.F: materia seca foliar; M.S.R: materia seca radicular; P.C: porcentaje de colonización; L.M.E: longitud de micelio extraradical

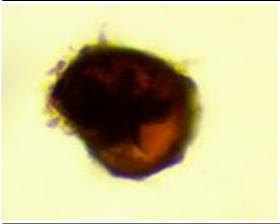
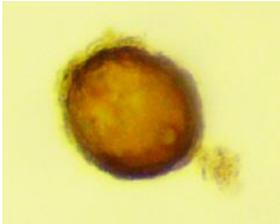
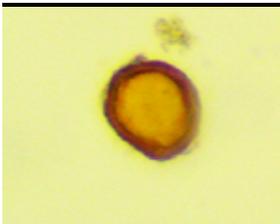
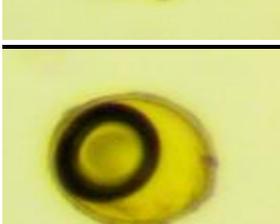
Las variables biométricas y fúngica que se muestran en la Tabla tienen correlación fuertemente positiva desde el intervalo 0,72-0,86 las demás son medianamente correlacionadas.

Identificación de Esporas

En las Tablas 16, 17, 18,19 y 20: muestran las características de los HMA, aislado de cinco altitudes diferentes y la identificación de esporas por forma, color y tamaño encontradas en plantones de quina.

Tabla 16

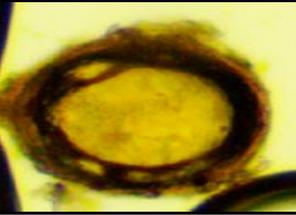
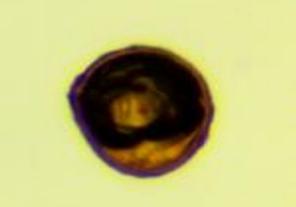
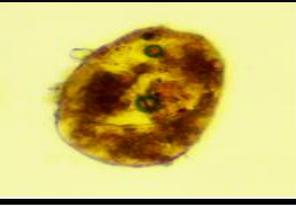
Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Rodríguez de Mendoza)

Fotografías	Géneros	Características
	<i>Acaulospora</i> M1	Diámetro Diámetro mayor =121,9 µm Diámetro menor =99,4 µm Color Café oscuro Forma 1,22 µm subglobosa
	<i>Glomus</i> M2	Diámetro Diámetro mayor =84,2 µm Diámetro menor =75,0 µm Color Cafetoso Forma 1,12 µm globosa
	<i>Glomus</i> M3	Diámetro Diámetro mayor =58,5 µm Diámetro menor =48,9 µm Color Amarillo cafetoso Forma 1,19 µm subglobosa
	<i>Acaulospora</i> M4	Diámetro Diámetro mayor =138,1 µm Diámetro menor =82,1 µm Color Marrón Forma 1,68 µm elipsoide
	<i>Glomus</i> M5	Diámetro Diámetro mayor =157,6 µm Diámetro menor =148,2 µm Color Marrón Forma 1,06 µm globosa
	<i>Glomus</i> M6	Diámetro Diámetro mayor =79,8 µm Diámetro menor =77,5 µm Color Amarillo pastel Forma 1,02 µm globosa

Nota. Identificación de genero del CM-RDM con las características encontradas con la guía INVAM

Tabla 17

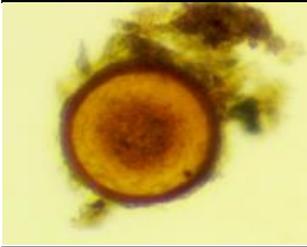
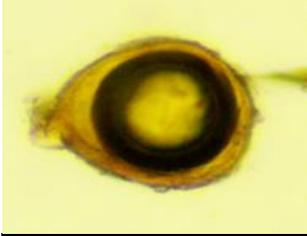
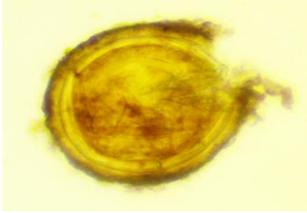
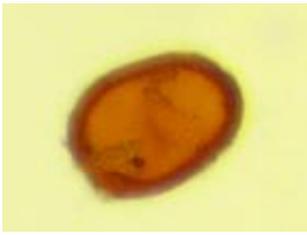
Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Yambrasbamba)

	<i>Acaulospora</i>	M1	Diámetro	Diámetro mayor =93,9 µm Diámetro menor =87,1 µm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,07 µm globosa
	<i>Glomus</i>	M2	Diámetro	Diámetro mayor =89,4 µm Diámetro menor =68,3 µm
			Color	Marrón
			Forma	1,30 µm globosa
	<i>Glomus</i>	M3	Diámetro	Diámetro mayor =54,2 µm Diámetro menor =52,5 µm
			Color	Amarillo dorado
			Forma	1,03 µm globosa
	<i>Glomus</i>	M4	Diámetro	Diámetro mayor =84,2 µm Diámetro menor =75,0 µm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,12 µm subglobosa
	<i>Glomus</i>	M5	Diámetro	Diámetro mayor =81,0 µm Diámetro menor =68,2 µm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,18 µm globosa
	<i>Acaulospora</i>	M6	Diámetro	Diámetro mayor =127,4 µm Diámetro menor =116,4 µm
			Color	Marrón
			Forma	1,09 µm subglobosa
	<i>Glomus</i>	M7	Diámetro	Diámetro mayor =97,6 µm Diámetro menor =84,7 µm
			Color	Marrón oscuro
			Forma	1,15 µm subglobosa
	<i>Glomus</i>	M8	Diámetro	Diámetro mayor =120,1 µm Diámetro menor =86,7 µm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,39 µm subglobosa

Nota. Identificación de genero del CM-YAM con las características encontradas con la guía INVAM

Tabla 18

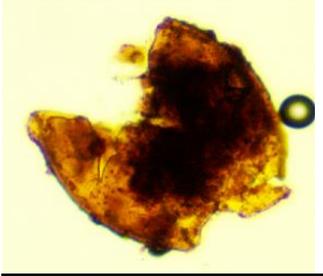
Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Leymebamba)

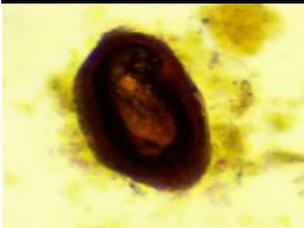
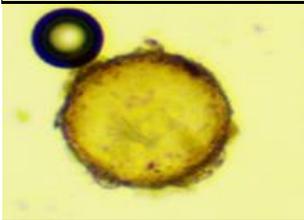
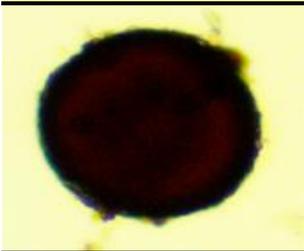
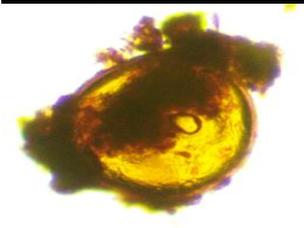
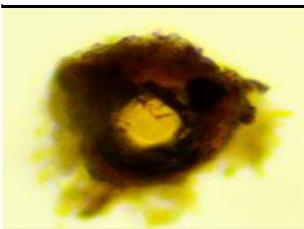
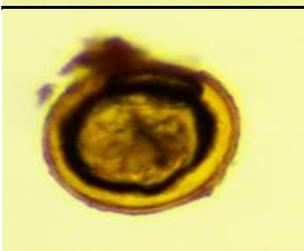
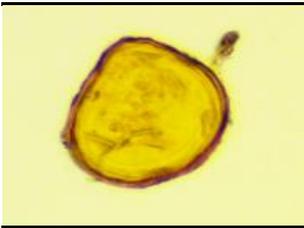
	<i>Glomus</i>	M1	Diámetro	Diámetro mayor =93,0 μm
				Diámetro menor =90,3 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,02 μm globosa
	<i>Acaulospora</i>	M2	Diámetro	Diámetro mayor =113,0 μm
				Diámetro menor =96,7 μm
			Color	Amarillo cafetoso
	<i>Acaulospora</i>	M3	Diámetro	Diámetro mayor =211,8 μm
				Diámetro menor =185,7 μm
			Color	Amarillo-oliva
			Forma	1,14 μm subglobosa
	<i>Diversispora</i>	M4	Diámetro	Diámetro mayor =94,9 μm
				Diámetro menor =68,7 μm
			Color	Amarillo -naranja
			Forma	1,38 μm elipsoide

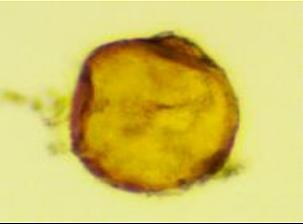
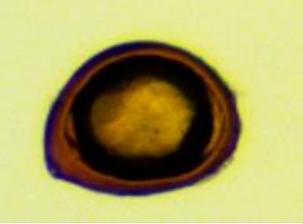
Nota. Identificación de genero del CM-LEY con las características encontradas con la guía INVAM

Tabla 19

Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-San Jerónimo)

	<i>Acaulospora</i>	M1	Diámetro	Diámetro mayor =128,8 μm
				Diámetro menor =117,9 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,09 μm subglobosa
	<i>Acaulospora</i>	M2	Diámetro	Diámetro mayor =218,3 μm
				Diámetro menor =203,4 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,07 μm subglobosa

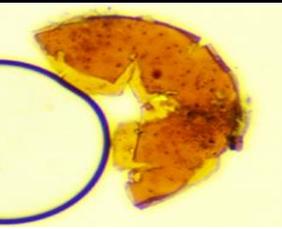
	<i>Acaulospora</i>	M3	Diámetro	Diámetro mayor =127,7 μm Diámetro menor =76,3 μm
			Color	Marrón
			Forma	1,67 μm subglobosa
	<i>Glomus</i>	M4	Diámetro	Diámetro mayor =98,5 μm Diámetro menor =92,8 μm
			Color	Amarillo
			Forma	1,06 μm globosa
	<i>Glomus</i>	M5	Diámetro	Diámetro mayor =123,5 μm Diámetro menor =120,9 μm
			Color	Marrón oscuro
			Forma	1,02 μm globosa
	<i>Acaulospora</i>	M6	Diámetro	Diámetro mayor =158,5 μm Diámetro menor =147,6 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,07 μm subglobosa
	<i>Acaulospora</i>	M7	Diámetro	Diámetro mayor =123,4 μm Diámetro menor =121,7 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,01 μm subglobosa
	<i>Glomus</i>	M8	Diámetro	Diámetro mayor =83,1 μm Diámetro menor =67,4 μm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,23 μm subglobosa
	<i>Acaulospora</i>	M9	Diámetro	Diámetro mayor =134,3 μm Diámetro menor =122,4 μm
			Color	Amarillo
			Forma	1,09 μm subglobosa
	<i>Acaulospora</i>	M10	Diámetro	Diámetro mayor =130,8 μm Diámetro menor =114,6 μm
			Color	Amarillo dorado
			Forma	1,14 μm elipsoide

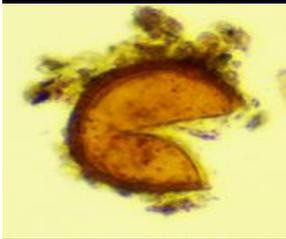
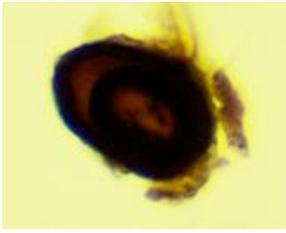
	<i>Glomus</i>	M11	Diámetro	Diámetro mayor =100,0 μm
Diámetro			Diámetro menor =91,1 μm	
Color			Amarillo dorado	
Forma			1,09 μm subglobosa	
	<i>Glomus</i>	M12	Diámetro	Diámetro mayor =80,3 μm
Diámetro			Diámetro menor =68,6 μm	
Color			Café oscuro	
Forma			1.17 μm elipsoide	

Nota. Identificación de genero del CM-SJ con las características encontradas con la guía INVAM

Tabla 20

Descripción morfológica de HMA asociados a quina (CM-Conila)

	<i>Acaulospora</i>	M1	Diámetro	Diámetro mayor =190.5 μm
Diámetro			Diámetro menor =161.5 μm	
Color			Amarillo-naranja	
Forma			1.12 μm elipsoide	
	<i>Claroideoglomus</i>	M2	Diámetro	Diámetro mayor =106,9 μm
Diámetro			Diámetro menor =60,0 μm	
Color			Amarillo cafetoso	
Forma			1,78 μm subglobosa	
	<i>Claroideoglomus</i>	M3	Diámetro	Diámetro mayor =119,4 μm
Diámetro			Diámetro menor =98,1 μm	
Color			Amarillo-oliva	
Forma			1,23 μm subglobosa	
	<i>Glomus</i>	M4	Diámetro	Diámetro mayor =137,7 μm
Diámetro			Diámetro menor =83,6 μm	
Color			Amarillo cafetoso	
Forma			1,65 μm Oblonga a estrechamente Elipsoidal	
	<i>Acaulospora</i>	M5	Diámetro	Diámetro mayor =82,7 μm
Diámetro			Diámetro menor =81,9 μm	
Color			Amarillo-pastel	
Forma			1,00 μm subglobosa	

	<i>Acaulospora</i>	M6	Diámetro	Diámetro mayor =102,7 µm
				Diámetro menor =96,6 µm
			Color	Amarillo cafetoso
			Forma	1,06 µm globosa
	<i>Glomus</i>	M7	Diámetro	Diámetro mayor =96,3 µm
				Diámetro menor =73,3 µm
			Color	Marrón
			Forma	1,31 µm subglobosa

Nota. Identificación de genero del CM-CON con las características encontradas con la guía INVAM

En esta investigación se identificaron 18 géneros de *Glomus*, 16 géneros de *Acaulospora*, un género de *Claroideoglomus* y 2 géneros de *Diversispora* en los cinco consorcios micorrízicos arbusculares (Tabla 16-20), para la identificación se hizo con fotografías de esporas tomadas en el laboratorio de Micorrizas-IIAP-San Martín y medidas biométricas de los diámetros mayor y menor (micras), tomadas a nivel microscópico, se identificó con el apoyo del Ing. Mike Corazón Guivin, especialista en HMA, INVAM (The International Collection of (Vascular) Arbuscular Mycorrhizal Fung) nos ayudó a determinar las formas, tamaño y color de los cinco consorcios micorrízicos de diferentes altitudes de la Región Amazonas, se utilizó guías y artículos como de Peña et al. (2006), en trabajos de Medina. (2017) en plantas de café, Mejía-Madrid & Peña-Santiago. (2020), en Ronny. (2021), Honoré et al. (2020) y (Ramírez Gómez & Villate, 2010). Las cuales servirán para futuras investigaciones sobre la asociación que tiene estos HMA con plantones de quina.

IV. DISCUSIONES

El género *Cinchona* conocida como la cascarilla o quina, distribuida en los bosques nublados del trópico y ecuatorial de la cordillera de los andes (Guamán, 2014); Sin embargo la investigación se ejecutó en un bosque húmedo tropical y se tuvo resultados fructíferos. Un factor importante es el pH que la quina requiere para su buen desarrollo con un pH 5,7 en promedio (Zevallos, 1996) y los resultados obtenidos del análisis de suelo se está reportando con 5,55 pH, por lo que no hubo mucha diferencia. Según Fernandez et al. (2022) la precipitación que requiere es de un 80% en promedio; y la precipitación que se recopiló en vivero de la investigación fue de 36%; otro factor es la temperatura que requiere la quina es de 10 °C a 23 °C, para un buen desarrollo (Vásquez et al., 2018), la temperatura que se reporta en la investigación es de 24 °C en promedio.

El suelo que requiere la quina, es de un suelo franco arcilloso arenoso, franco arenoso, arcilloso arenoso, (Zevallos, 2014), similar al suelo usado en la investigación que fue franco arcilloso. La quina produce a una altitud de 400 – 3200 m.s.n.m (Rojas et al., 2022), sin embargo la investigación fue desarrollada a una altitud de 315 m.s.n.m, casi similar a las condiciones que requiere este género, pero según reportes no sería factible la producción de quina a esa altitud; antes de ejecutar la investigación se hizo una prueba a una temperatura de 25 °C, donde se tuvo resultados y también hay reportes que mencionan que hay relictos de quina en Condorcanqui (Vásquez et al., 2018), por lo que se ejecutó la investigación sin ningún inconveniente en las condiciones de la región antes mencionado y se obtuvieron buenos resultados.

Los resultados muestran la efectividad de los consorcios micorrízicos arbusculares autóctonos en plántulas de quina, mostrando superioridad el T4 el CM-SJ (Consortio Micorrízico San Jerónimo) en las variables tamaño de planta (10,08 cm), diámetro de tallo (0,31 mm), materia seca foliar y radicular (387,40; 59,63 mg), área foliar (41,16 cm²), tasa de crecimiento (0,042 cm/días); tamaño de raíz (15,36 cm); por su parte, el tratamiento T2, el CM-YAM (Consortio Micorrízico Yambrasbamba) favoreció el número de raíces (14) y sobrevivencia (100%), Sin duda, los efectos manifestados, son extensamente diferentes, ya que los hongos tuvieron diferentes procedencias con diferentes altitudes, siendo los más efectivos aquellos de altitudes que oscilaron de 2078 a 2615 m.s.n.m, cuando mayor fue la altitud y menor al promedio no se reportaron efectos significativos. En general, los HMA todos mostraron superioridad al testigo, superando

en promedio hasta en 1,4 veces, lo cual denota una clara dependencia de las plantas de quina a los HMA.

En investigaciones similares, Fernandez et al. (2022), refieren que los HMA del género *Glomus*, favorecen significativamente el crecimiento inicial de *C. officinalis*, lo cual corrobora el papel fundamental de los hongos frente a la nutrición de las plantas. En investigaciones con HMA autóctonos en especies de la familia Rubiaceae (Del Aguila et al., 2018), lograron un crecimiento sobresaliente, en plantas de café en relación a plantas no inoculadas, similar reportaron Vallejos et al. (2019), donde las plantas inoculadas superaron en 1,17 veces a las plantas no inoculadas, manifestando además que la procedencia de los HMA juega un papel fundamental en las plantas hospederas. No cabe duda que la quina se comporta como una simbiote obligado, ya que necesita de los HMA para manifestar su capacidad de crecimiento, quienes además ha logrado manifestarse como especies resilientes, frente al cambio de las condiciones ambientales proporcionados, muy diferentes a su hábitat natural.

Los efectos favorables en el crecimiento y desarrollo de quina, efectuados por HMA autóctonos, muestran un claro ejemplo de que los hongos tienen capacidad de colonizar hasta con el 85% de las plantas (Bustamante, 2022), siendo altamente simbióticos con la quina, a pesar que esta especie posee alcaloides como la quinina, naturalmente posee un amargo, que funciona como un efecto inhibitorio para la colonización.

Altura de planta

Los consorcios usados en la investigación mostraron efecto en la variable de altura de planta de quina en condiciones de vivero en comparación del T0, los consorcios más eficientes en altura de planta fueron T4, T2 y T5 incrementando en 10,08 cm, 9,50 cm y 9,26 cm respectivamente durante 4 meses, Vallejos et al. (2019), muestra resultados en plantas de café del T0 de 6,15 cm, similar al testigo de estudio de esta investigación T0= 6,42 cm, que son bajo en comparación a los inoculados con HMA. Como en la investigación de Del Aguila et al. (2018), que obtuvieron un resultado promedio de altura de planta 10,65% más altas que el testigo.

Diámetro de tallo

En la variable de diámetro de tallo se encontró una tendencia de similitud con la variable de la altura de planta; siendo nuevamente los mejores tratamientos T4, mostrando su valor de 41,16 mm, siguiendo los T2 y T5 que son los consorcios micorrízicos de San Jerónimo,

Yambrasbamba y Conila, en comparación al testigo fueron los mejores, Así mismo Apolo. (2012) muestra resultados satisfactorios en el diámetro de tallo, con un promedio de 18,85 mm haciendo comparación con plantas no inoculadas, por ello Sánchez. (2017) menciona que los hongos influyen en la morfología de las plantas en especial del café.

Materia seca foliar y radical

En las variables de materia seca foliar y radicular encontramos resultados que los consorcios micorrízicos oscilan entre (163,03-387,40, mg y 57,63-59,63 mg) encontrando efectos positivos en los tres mejores tratamientos de materia seca foliar y radicular respectivamente, comparando con el testigo T0, con alta dependencia micorrízicas de la quina; Alva. (2019) determina en un ensayo reporta la variable de materia seca aérea eficientes con fuente de inóculo en comparación al testigo, con 3,24 g, como el Del Águila et al, (2018), muestra resultados fructífero a los tratamientos inoculados con HMA tanto el materia seca aérea y radicular 85,51%, 77,16% respectivamente. En referencia a la biomasa seca de las plantas, Alva. (2019) menciona que cuanto menor cantidad de inóculo de HMA se usa (3,24 g/planta), demuestra eficiencia en plantas inoculadas, lo cual no concuerdan con los encontrados en el estudio, ya que se inocularon con 50 g por plantas, la diferencia podría estar dada en función a las especies de HMA estudiadas, así como la procedencia. En otros estudios, Hernández et al. (2018), reportaron que las plantas de café (Rubiaceae) inoculados con HMA superaron hasta en un 676% en relación al testigo, siendo altamente superior a lo reportando en el estudio en relación a la variable

Área foliar

En la variable de área foliar se encontró que los consorcios micorrízicos tuvieron efecto positivo en plantas de quina determinando los mejores tratamiento T4, T2 y T5 incrementaron en (41,16; 34,93 y 30,14 cm²) respectivamente, haciendo comparación con el T0 y con una similitud en Del Aguila et al. (2018) en su investigación de café donde muestra sus resultados con 77,45 hasta 239,31% comparando con el testigo tienen influencias los hongos micorrízicos al igual que el ensayo de Hernández et al. (2018), muestran un alto valor en área foliar (676%) comparando con el T0 en las plantas de café en vivero, mientras que con los consorcios estudiados el área foliar en quina es baja comparando con los dos ensayos de los autores menciona Fernandez et al. (2022) muestra resultados satisfactorios en área foliar en quina.

Número de raíz y tamaño de raíz

Las variables de número de raíz y tamaño de raíz se encontraron resultados altamente significativos, siendo los mejores tratamientos T2 y T1 (14 y 13 raíces) en comparación con el T0 y en el tamaño de raíz se encontró una similitud con las demás variables T4, T2 y T5 los consorcios de San Jerónimo, Yambrasbamba y Conila encontrando incremento (11,56-15,36 cm) de plantas de quina. Según Gálvez (2017) refiere que los HMA favorecen la longitud de raíz, superando hasta en 1,54 veces a plantas no inoculadas, con valores similares al estudio. Mientras que Fernandez et al. (2022), reporta un buen resultado en germinación de quina con micorrizas con una longitud de raíz de promedio del 29,1 % que las sin micorrizas.

Sobrevivencia

Sin embargo, la sobrevivencia de plantas de quina en vivero, se observó que las plantas de quina alcanzaron niveles superlativos de crecimiento de los días 75-120 sobre todo aquellas que fueron inoculadas con CM-SJ, sin embargo en la sobrevivencia todos los tratamientos mostraron efectos favorables en las plantas, logrando hasta un 100 % y superando largamente al testigo, al igual que muestra Sanchez et al. (2022) en su reporte que en invernadero tuvo un buen porcentaje de sobrevivencia de plántones de quina y en vivero con 6,3% de mortalidad, Similar a Apolo. (2012) donde reporta una buena sobrevivencia de plántones en invernadero 41,8 % en promedio por lo que las micorrizas tienen efectos en la sobrevivencia.

Tasa de crecimiento

En la variable de tasa de crecimientos los resultados obtenidos son eficientes destacando los tratamientos T4 y T2 con un porcentaje de 3–6%. Similar a los hallazgos, de Sanchez et al. (2022), donde reporta que los consorcios con mejor efectividad fueron San Jerónimo y Leymebamba, de igual manera reportan un buen crecimiento con micorrizas con un promedio de 53,7% en comparación al sin micorrizas, Vallejos et al. (2019) en su reporte menciona que la tasa de crecimiento para café, de 6-25 % y en el estudio fue de 3–6%, esto puede atribuirse con la altura de planta y tamaño de raíces, por lo que estas tuvieron una capacidad simbiótica unos más que otros consorcios.

Porcentaje de colonización

En la investigación se encontró una colonización de 59,33 % con CM-CON y en longitud de micelio se obtuvo en promedio 120,46 con CM-YAM; los hallazgos, son concordantes, en parte con los efectos generados, ya que CM-CON no manifestó buen tamaño en las plantas, pero CM-YAM sí tuvo efecto en algunas variables; en relación (Restrepo et al., 2019) manifiesta que no siempre una buena colonización depende de la espora de HMA puede generar efectos favorables, sino por el contrario depende de la especie de HMA la que haya colonizado y sea más efectivo en suministrar nutrientes. En general, la colonización encontrada, fueron superiores a los reportados por Fernandez et al. (2022), donde inocularon a quina con hongos micorrízicos comerciales, lo que corroboraría que, la quina tienen mejor respuesta a los HMA autóctonos y con cierta especificidad. similar al reporte de Apolo. (2012) que muestra un porcentaje de colonización de un promedio de 52,5%, mientras que Sánchez. (2017) muestra un bajo porcentaje de colonización con 4,28%.

Longitud de micelio extraradical

Longitud de micelio extraradical se evaluaron en suelo micorrizada, se reportan que hay diferencias significativas en comparación a los tratamientos, siendo el mejor el tratamiento T5 CM-CON (Consorcio micorrízico Conila) y T2 CM-YAM (Consorcio micorrízico Yambrasbamba); Tuvieron mejores resultados con alto valor =120,46 cm, mientras en los reportes de Fernandez et al. (2022), hay diferencias significativas con un promedio de 115,7 cm con micorrizada, al igual que (Romero, 2019; Sánchez, 2017), muestran un resultado fructífero en raíces de café.

Identificación de esporas

La investigación, permitió realizar la identificación de los HMA autóctonos, a nivel de género, reportando la existencia en mayor porcentaje en todos los inóculos de los géneros de *Glomus* y *Acaulospora*; la abundancia del primero en el estudio, corrobora lo mencionado por Medina. (2017), donde el género *Glomus* es uno de los más grandes de la división Glomeromycota y ampliamente distribuidos con una gran diversidad de morfoespecies a lo largo del planeta. Otro segundo género importante es *Acaulospora*, a pesar que muchas tienen similitud con *Glomus* por sus arbuscúlos. En investigaciones realizadas, (Kateryn, 2019), describe el tamaño promedio de *Acaulospora* (110 ancho a 190 micras de largo), posee forma globosa, subglobosa y elipsoide que lo hacen diferentes

a *Glomus*. Diversos estudios muestran con mayor presencia de *Glomus*, en todas las muestras evaluadas, aunque en algunas estudios se han reportado la presencia de *Acaulospora* (100%), *Archaeospora* (85%), *Gigaspora* (28%) y *Entrophospora* (Ronny, 2021; Alva, 2019). Finalmente, el estudio de la diversidad de HMA autóctonos es mínimo según a la proyección estimada a lo largo del mundo, aun se ha reportado menos del 10% del total, quedando una alta brecha de estudio y principalmente con la quina, que, siendo una especie en peligro de extinción en la actualidad, pocos son los esfuerzos de buscar tecnologías que permitan un propagación masiva y eficiente, para pensar en un repoblamiento a gran escala.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que los consorcios micorrízicos arbusculares tienen efecto en el crecimiento y desarrollo de los plántones de quina (*Cinchona* sp.), reportando que los consorcios micorrízicos procedentes de San Jerónimo y Yambrasbamba fueron los más efectivos.

La capacidad simbiótica en los cinco consorcios de HMA en la tasa de crecimientos se mostró favorable en los días 75-120, sin embargo, los días iniciales el crecimiento fue lento desde su repique (comportamientos naturales de especies nativas); el consorcio procedente de San Jerónimo mostró mayor efectividad en la adaptación de las plantas.

El consorcio micorrízico procedente de Conila mostró mayor porcentaje de colonización (59,33%, mientras que la mayor longitud de micelio extra radical lo tuvo el consorcio procedente de Yambrasbamba con 120,46 cm.

Se identificaron cuatro géneros en los consorcios posterior a la inoculación a quina en vivero, de los cuales los más sobresalientes fueron 18 géneros de *Glomus*, seguido 16 géneros de *Acaulospora* y bajas cantidades de los géneros *Clarideospora* y *Diversispora*; que sumado se tuvieron 37 morfotipos.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda inocular a plantas de quina con consorcios micorrízicos arbusculares autóctonos procedentes de altitudes de 2600 m.s.n.m.

Se recomienda validar la efectividad de los mejores HMA en plantas de quina a nivel campo.

Se recomienda identificar los hongos micorrizicos arbusculares a nivel de especie para las plantas de quina en vivero.

Se recomienda hacer un cultivo monospórico con los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, para inocular a plantas de quina en vivero.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán, J., Chilquillo, E., Melchor, B., Arakaki, M., León, B., & Suni, M. (2020). *Cinchona* L. “Árbol de la Quina.” *Revista Peruana de Biología*, 27(3), 423–426. <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i3.18697>.
- Alva, J. (2019). Producción masiva de hongos micorrízicos arbusculares utilizando plantas trampa e inóculos de suelo rizosferico de café proveniente de diferentes altitudes de San Martin. *Tesis de Pregrado*, 96.
- Apolo, M. (2012). Germinación en el laboratorio e influencia de los hongos micorrízicos en el crecimiento de dos procedencias de *Cinchona pubescens*, a nivel de invernadero. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 160.
- Bustamante, A. (2022). Beneficios del intercalamiento de canavalia inoculada con hongos micorrízicos y Rhizobium en *Coffea canephora*. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2), 1–15.
- Corazon, A., Mendoza, C., Guerrero, C., Vallejos, A., Carballar, S., Alves, G., & Oehl, F. (2019). *Funneliglomus*, gen. nov., and *Funneliglomus sanmartinensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the Amazonia región in Perú. *March*, 17–24. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0017>.
- Del Aguila, M., Vallejos, G., Arévalo, A., & Becerra, G. (2018). Inoculation effect of arbuscular mycorrhizal consortiums in *Coffea arábica*, caturra variety in the San Martín Región. *Información Tecnológica*, 29(1), 137–146. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000100015>.
- Eras, V., Minchala, J., Moreno, J., Arévalo, M., Sinche, M., & Valarezo, C. (2019). Estructura, composición y florística reproductiva de *Cinchona officinalis* L. en la provincia de Loja.
- Fajardo, M. (2015). Propagación vegetativa de café nacional (*Coffea arábica*), con el uso de hormonas estimulantes del enraizamiento ANA y AIB en el Canton Buena Fe. Los Ríos de Ecuador, I, 22.
- Fernandez, F., Huaccha, A., Vaca, S., Sanchez, T., Morales, E., Seminario, A., Guelac, M., Barturén, L., Coronel, D., Quiñones, L., & Vaca, S. (2022). Effect of arbuscular mycorrhiza on germination and initial growth of *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae). *Forest Science and Technology*, 0(0), 1–8.

<https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2124318>.

- Fernandez, F., Huaccha, A., & Quiñones, L. (2022). Producción del árbol de la quina. Jaén-Perú 1(June), 1–6.
- Gálvez, S. (2017). Efectividad e infectividad de especies de hongos micorrízicos arbusculares en “papa” (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones de invernadero Ayacucho-2015. 73.
- Gómez, N., Zhingre, C., Quiñonez, E., Loján, P., López, L., Encalada, M., & Aguirre, N. (2019). Aislamiento de caracterización morfológica de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) de zonas ripiaras del Sur del Ecuador: un enfoque a la producción de biofertilizantes. *Revista Del Centro de Estudio y Desarrollo de La Amazonia*, 09(01), 1–7.
- Guamán, P. (2014). Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de *Cinchona* spp. en sitios perturbados y no perturbados en la provincia de Loja. 44.
- Hernández, E., Trejo, D., Ferrera, R., Rivera, A., & González, M. (2018). Hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento del café (*Coffea arábica* L.) variedades garnica, catimor, caturra y catuaí. *Agroproductividad*, 11, 61–67. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/352/276>.
- Hernández, E., Trejo, D., Rivera, A., & Ferrera, R. (2020). Arbuscular mycorrhiza as a biofertilizer in production of *coffee*. 613–628.
- Honoré, I., Lucien, T., Philippe, K., Said, A., Huaman, R., & Clautilde, M. (2020). Morphological and Structural Diversity of Native Mycorrhizae Communities Associated with *Gossypium hirsutum* L. under Sudano-Sahelian Climate of North Cameroon. January. <https://doi.org/10.18483/ijSci.2257>.
- Kateryn, S. (2019). Obtención de inoculantes puros de hongos micorrízicos arbusculares monospórico y consorcios en cultivo de *Brachiaria documbens* como opción para la reducción de fertilizantes sintéticos en el departamento de Ucayali. *Tesis de Pregrado*, 101.
- Medina, E. (2017). Biogeografía de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de café (*Coffea arábica* L.) en la región de San Martín, Perú. 126.

- Mejía, H., & Peña, R. (2020). Morphological and molecular characterisation of *Aporcelinus zapotitlanensis* sp. n. (Dorylaimida: Aporcelaimidae) from central México. *Nematology*, 22(4), 469–478. <https://doi.org/10.1163/15685411-00003317>.
- Paredes, R., Hernández, G., Robledo, V., González, A., Chiquito, G., & Mendoza, R. (2022). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y sustratos orgánicos sobre la morfología y minerales en plantas de frijol. *Tierra Latinoamericana*, 40 (March),10.
- Peña, P., Cardona, I., Arguelles, H., & Lucia, A. (2007). Micorrizas Arbusculares del Sur de la Amazonia Colombiana y su Relación con Algunos Factores Físicoquímicos y Biológicos del Suelo. *Científicas Sinchi*, 37(098), 326–327.
- Quiñones, E., Rincón, G., & López, L. (2020). Native mycorrhizal fungi as growth promoters in guava plants (*Psidium guajava* L.). *Terra Latinoamericana*, 38(3), 541–554. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.646>.
- Ramírez, M., & Villate, R. (2010). Recognition Signalling Between Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Plants. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu*, 11(1), 53–60.
- Ramirez, M., Peñaranda, A., Pérez, U., & Serralde, D. (2018). Biofertilización Con Hongos Formadores De Micorrizas Arbusculares (Hfma) En Especies Forestales En Vivero. 16(2), 15–25. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n2.96>.
- Restrepo, K., Montoya, M., Jaramillo, P. H., Gutiérrez, A., & Guzmán, M. (2019). Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. 72, 35–44.
- Reyes, Y., Soto, L., Wagner, B., Pimentel, E., & Bueno, A. (2020). Caracterización de micorrizas autóctonas en suelo y raíces provenientes de fincas ganaderas en Montercristi, *República Dominicana*. 09(01), 61–74.
- Robles, S. (2009). “Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrízico en especies silvestres de Agave en Oaxaca.” *Politécnico Nacional, IPN*, 80.
- Rojas, A., Nina, M., & Vilca, Y. (2022). Evaluación de tres tipos de sustrato (Turba, fibra de coco y compost) en la germinación de (quina) *Cinchona officinalis* L.

- Romero, L. (2019). Bioprotección de plantas de café a *Hemileia vastatrix*, aplicando consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos, en vivero, provincia de Lamas. *Agronomía, Escuela Profesional D E*, 97.
- Ronny, A. (2021). Estudio de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la región San Martín. *Tesis de Pregrado*, 93.
- Sánchez, T. (2017). Efecto de inóculo de hongos micorrízicos arbusculares en plantas clonales de café (*Coffea arábica* L.) variedad caturra en condiciones de invernadero, Rodríguez de Mendoza, región Amazonas. *Agrios Ciencia*, 1, 1–87.
- Sanchez, T., Altamirano, M., Huaman, M., Guelac, M., Rojas, K., & Morales, E. (2022). Effect of arbuscular mycorrhizae and organic fertilizers on vegetative performance of *Cinchona officinalis* in controlled. *Revista Pakamuros*, 10(3), 13.
- Tapia, J., Ferrera, R., Varela, L., & Carlos, J. (2008). Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. 4.
- Vallejos, G., Sánchez, T., García, M. A., Trigoso, M., & Arévalo, L. A. (2019). Efecto de hongos formadores de micorrizas arbusculares en clones de *Coffea arábica*, variedad caturra en Perú. *Acta Agronómica*, 68(4), 278–284. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.72117>.
- Vásquez, J., Lápiz, E., Barboza, M., Vásquez, S., & Quispe, L. (2018). Comparación de sustratos en la propagación sexual y asexual del árbol de la quina (*Agroproducción Sustentable*, 2(3), 77–85. <https://doi.org/10.25127/aps.20183.407>.
- Villar, A., Elizabeth, F., Bazán, M., Rodrigo, J., & Villanueva, B. (2018). Evaluation of the natural regeneration of *Cinchona officinalis* L. in the Buffer Zone of the. *Proyecto Estudio Silvicultural de La Quina*, 1, 8.
- Zavala, A., & Zevallos. A. (1996). Taxonomía, distribución geográfica y status del género *Uncaria* en el Perú. *Facultad de Ciencias Forestales de La Universidad*

Nacional Agraria La Molina., January 1989.

Zevallos, A. (2014). Taxonomía, distribución geográfica y status del género *Cinchona* en el Perú. January 1989, 1–76.

ANEXOS

Tabla 21

Resultados de las variables morfológicas y fúngicas asociados con hongos micorrízicos arbusculares en quina en vivero

TRATAMIENTOS	ALTURA	DIÁMETRO	MATERIA SECA A	MATERIA SECA R	ÁREA FOLIAR	TAMAÑO DE RAÍZ	NÚMERO DE RAÍZ	TASA CRECIMIENTO	SOBREVIVENCIA	% COLONIZACIÓN	LONGITUD DE MICELIO EXTRARADICAL
T0	6,43	0,07	21,6	9,6	9,28	7,3	7	0,013	0,90	3,00	9,00
T0	6,43	0,06	28,2	8,4	9,30	7,5	7	0,013	1,00	3,00	9,00
T0	6,40	0,12	23,4	10,3	4,05	6,5	6	0,009	0,83	2,50	9,00
T1	7,94	0,25	110,1	34,2	24,76	13,2	11	0,025	0,90	58,00	90,34
T1	7,94	0,28	112,4	45,2	26,29	14,8	14	0,024	0,94	46,00	150,57
T1	7,93	0,28	122,3	47,9	29,22	13,5	15	0,024	1,00	50,00	30,11
T2	9,50	0,28	219,7	54,8	44,39	10,3	14	0,038	1,00	38,00	90,34
T2	9,51	0,27	183,4	78,1	26,32	10,9	16	0,038	1,00	38,00	150,57
T2	9,50	0,29	203,2	40,0	34,10	10,5	12	0,037	1,00	30,00	120,46
T3	8,82	0,25	131,7	51,1	32,87	8,6	10	0,036	1,00	30,00	60,23
T3	8,83	0,26	141,3	52,9	25,20	10,0	8	0,034	1,00	27,50	30,11
T3	8,83	0,26	160,9	23,5	21,71	8,2	10	0,026	0,80	30,00	167,56
T4	10,09	0,29	380,3	58,8	32,18	15,2	14	0,043	0,90	62,00	60,23
T4	10,07	0,31	366,9	67,7	55,01	15,6	12	0,038	1,00	62,00	60,23
T4	10,08	0,34	415,0	52,4	36,31	15,3	12	0,047	1,00	54,00	30,11
T5	9,26	0,25	157,4	51,2	17,31	11,2	9	0,046	1,00	50,00	150,57
T5	9,28	0,26	159,2	61,4	38,50	11,6	10	0,035	0,80	38,00	150,57
T5	9,26	0,28	172,5	65,8	34,61	11,9	9	0,026	0,90	46,00	60,23

Nota: Las variables que se usó en la investigación; A: altura; D: diámetro; T.R tamaño de raíz; N.R: número de raíz A.F: área foliar; M.S.F: materia seca foliar; M.S.R: materia seca radicular; P.C: porcentaje de colonización; L.M.E: longitud de micelio extraradical.

Tabla 22

Resultado de análisis de suelos micorrizados

ANÁLISIS DE SUELOS MICORRIZADOS: CARACTERIZACIÓN																								
Solicitante:		IIAP_103_2021 FONDECYT																						
Departamento:		AMAZONAS										Provincias: Rodríguez de Mendoza, Bongara, Chachapoyas y Luya												
Distrito:		Omia, Yambrasbamba, Leymebamba, San Jerónimo y Conila										Fact.: Pendiente		Predio:										
Referencia:												Fecha:		3/05/2022										
Número de Muestra		C.E.		Análisis Mecánico							Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%	Altitud			
Lab	Muestra	pH	(1:1)	P	K	C	M.O.	N	Arena	Limo	Arcilla	Textural	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	de	de	Sat. De	(m.s.n.m			
		(1:1)	dS/m	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%		meq/100g					Cationes	Bases	Bases	.)			
715	RDM-AR	6.55	0.02	8.22	23.00	1.41	2.43	0.12	80	10	10	A.Fr.	6.40	1.40	0.19	0.05	0.41	0.00	2.05	2.05	32	1576		
716	YAM-AR	4.89	0.01	7.35	27.11	2.82	4.87	0.24	80	10	10	A.Fr.	6.40	1.10	0.22	0.08	0.48	1.67	3.54	1.87	29	2078		
717	LEY-AR	5.89	0.02	20.9	28.63	3.29	5.68	0.28	80	8	12	Fr.A.	8.00	4.07	0.23	0.05	0.40	0.00	4.76	4.76	59	2570		
718	SJ-AR	6.83	0.02	3.7	24.63	1.41	2.43	0.12	80	8	12	Fr.A.	9.60	5.23	0.28	0.07	0.45	0.00	6.04	6.04	63	2615		
719	CON-AR	5.40	0.01	6.7	21.97	2.82	4.87	0.24	80	8	12	Fr.A.	9.60	3.50	0.21	0.04	0.50	1.89	6.14	4.25	44	3054		
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso																								

Tabla 23

Resultado de análisis de suelo usado en la investigación para la inoculación con las plantas de quina en vivero

ANÁLISIS DE SUELO : CARACTERIZACIÓN																								
Solicitante:		IIAP_103_2021 FONDECYT																						
Departamento:		AMAZONAS																						
Distrito:		NIEVA										Provincia:		CONDORCANQUI										
Referencia:												Fecha:		03/05/22										
Número de Muestra		C.E.		Análisis Mecánico							Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%	Altitud			
Lab	Muestra	pH	(1:1)	P	K	C	M.O.	N	Arena	Limo	Arcilla	Textural	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺	de	de	Sat. De	(m.s.n.m.)			
		(1:1)	dS/m	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%		meq/100g					Cationes	Bases	Bases				
714	SC	5.55	0.01	0.20	183.60	2.35	4.06	0.20	40	28	32	Fr.Ar.	20.00	4.39	0.21	0.33	0.41	7.63	12.98	4.34	27	315		
A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso																								

Tabla 24

Datos meteorológicos (Temperatura y Humedad relativa) del vivero del IIAP-Amazonas-Condorcanqui

HORA	ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO	
	T°	HR%	T°	HR%	T°	HR%	T°	HR%
6:00 a. m.	23,3	13,9	22,3	20,8	23,5	93,1	24,3	79,6
6:00 p. m.	25,4	48,6	24,9	67,0	24,4	86,0	23,0	81,6
PROMEDIO	24,4	31,3	23,6	43,9	24,0	89,6	23,7	80,6

Figura 17

Identificación de plantas de quina y limpieza de puntos de colecta



Figura 18

Colecta de suelo rizosférico de quina – bosque montano Conila



Figura 19

Multiplicación con planta de maíz y colecta de suelos multiplicados



Figura 20

Semillas y la germinación de la quina



Figura 21

Inoculación y repique de las plántulas de quina



Figura 22

Medición del diámetro de tallo de Cinchona sp.



Figura 23

Medición del tamaño radicular de Cinchona sp.



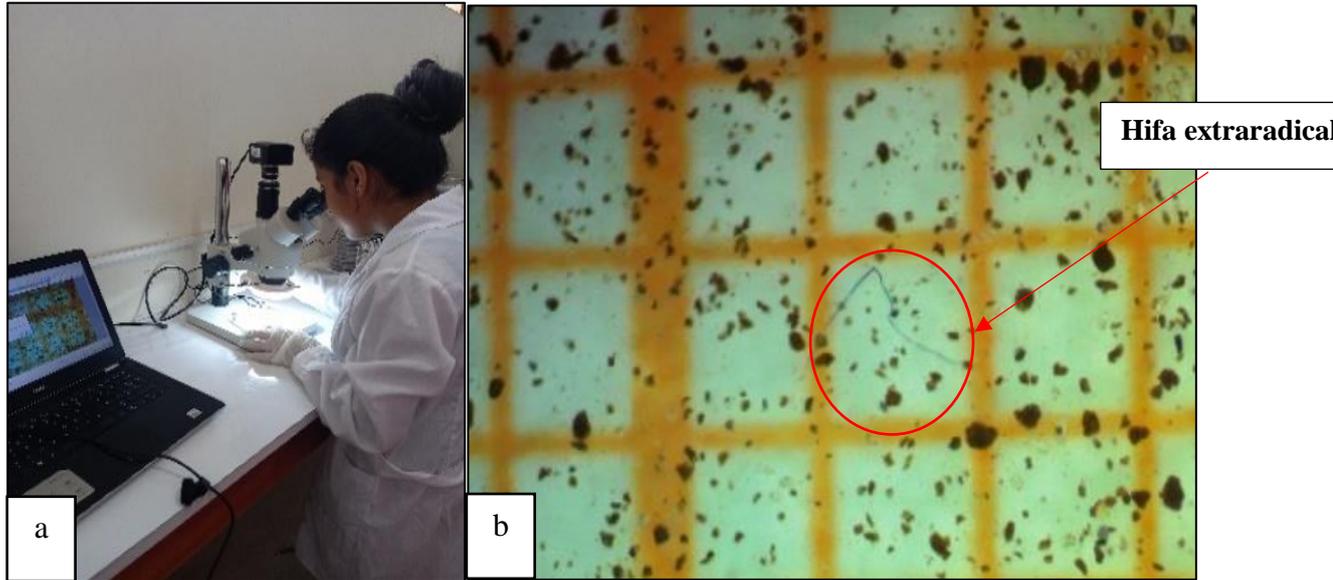
Figura 24

Evaluación de la biomasa seca foliar y radicular de Cinchona sp.



Figura 25

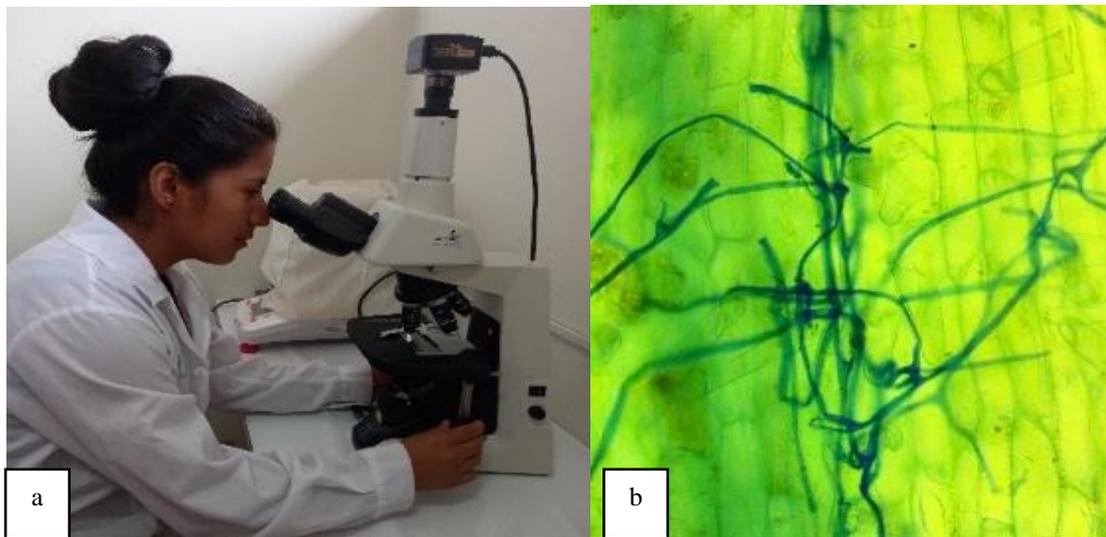
Pasos para la evaluación de micelio extraradical



Nota. a) observación en estereoscopio a 4X; b) micelio extraradical

Figura 26

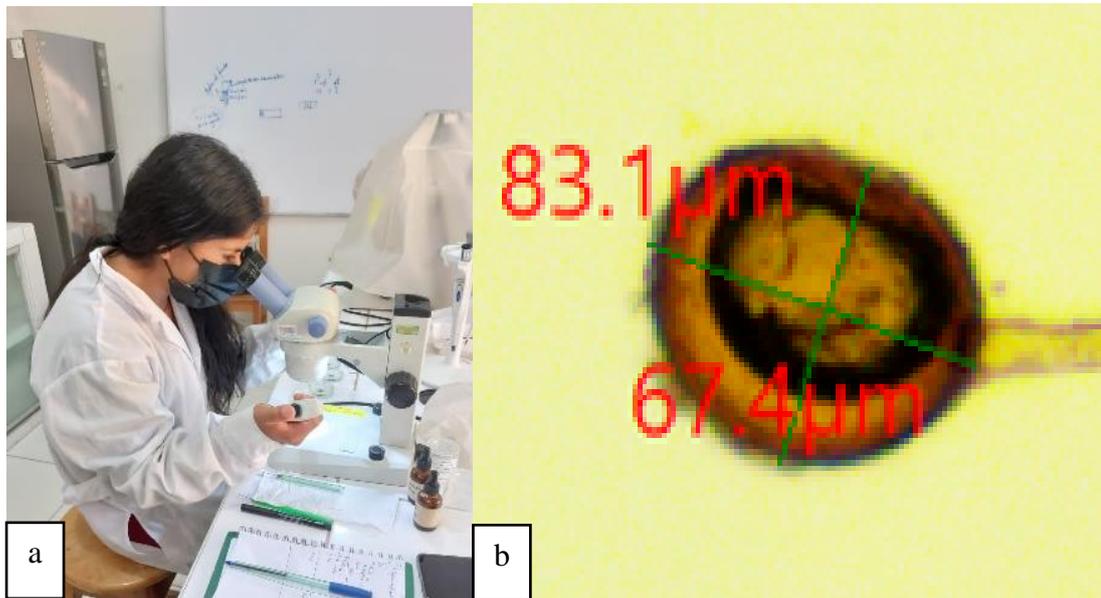
Proceso para la evaluación de porcentaje de colonización



Nota. a) observación en microscopio a 100X; b) hifas de HMA en raíz de quina

Figura 27

Proceso para la identificación de esporas



Nota. a) aislamiento de esporas con micropipeta; b) medición de espora a 40X de aumento