



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Jefferson Andre Alfaro Oblitas
<https://orcid.org/0000-0002-5798-3680>

Asesor:

Dr. Agustín Cerna Mendoza
<https://orcid.org/0000-0002-4827-9966>

Co - asesor:

Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón Güivin
<https://orcid.org/0000-0001-6027-4255>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Jefferson Andre Alfaro Oblitas

Sustentado y aprobado el 12 de octubre del 2023 por los siguientes jurados:

Presidente de Jurado
Dr. Carlos Daniel Vecco Giove

Secretario de Jurado
Ing. M. Sc. José Carlos Rojas
García

Vocal de Jurado
Ing. M. Sc. Harry Saavedra Alva

Asesor
Dr. Agustín Cerna Mendoza

Co-asesor
Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón
Güivin

Tarapoto, Perú

2023



Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos Nº 001-2024

Jurado reconocido con Resolución Nº135-2019-UNSM-T/FCA/CF/NLU.

Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía.

A las 19:30 horas, del 12 de enero de 2024, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM, inicio el acto público de sustentación del trabajo de investigación "**Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín**" para optar el título profesional de **Ingeniero Agrónomo**, presentado por **Jefferson André Alfaro Oblitas**, con la asesoría del **Dr. Agustín Cerna Mendoza** y la co-asesoría del **Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón Guivin**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por **Dr. Carlos Daniel Vecco Giove** (presidente del jurado), **Ing. M.Sc. José Carlos. Rojas García** (secretario), **Ing. M.Sc. Harry Saavedra Alva** (vocal), y acompañado por el **Dr. Agustín Cerna Mendoza** (asesor) y el **Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón Guivin** (co-asesor); el presidente de jurado dirigió brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la Resolución Nº **135-2019-UNSM-T/FCA/CF/NLU**.

Seguidamente el autor expuso el trabajo de investigación y el jurado evaluador realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y eventualmente, con la venia del jurado, por el asesor. Una vez terminada la ronda de preguntas, el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto, sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según la Tabla Nº 2 del Anexo 4.2 del RG – CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **quince (15)**; tal como se deja constar en la siguiente descripción:

Criterio	Graduación	Puntaje medio	Jurado 1	Jurado 2	Jurado 3
Aspectos preliminares sobre el informe (50%):					
Originalidad de la investigación.	Excelente	1	1	1	1
	Bueno				
Claridad en la identificación del problema, hipótesis de trabajo y objetivos propuestos.	Excelente	2	2	2	2
	Bueno				



**Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados
y títulos Nº 001-2024**

Criterio en la selección y tratamiento de la información bibliográfica.	Excelente	1	1	1	1
	Bueno				
Identificación adecuada de las variables para el estudio. Pertinencia del diseño experimental o muestral, de corresponder.	Excelente	2	2	2	2
	Bueno				
Redacción científica y cumplimiento de las normas de estilo.	Excelente				
	Bueno	0.5	0.5	0.5	0.5
Calidad de los resultados y su tratamiento.	Excelente	2	2	2	2
	Bueno				
Conclusiones.	Excelente	0.83		1	1
	Bueno		0.5		
Aspectos relacionados con la presentación pública (50%):					
Estructura de la exposición	Excelente				
	Bueno	1.66		2	2
	Regular		1		
Fluidez de la exposición	Excelente				
	Bueno	2	2	2	2
	Regular				
Dominio y suficiencia en el tema (respuestas)	Excelente				
	Bueno	2	2	2	2
	Regular				
Uso del tiempo	Óptimo	0	0	0	0
Puntajes totales		14.99			

= 15

De acuerdo con el Artículo 40° del RG – CTI, la nota obtenida es **aprobatoria** y correspondiente a la calificación de **bueno**. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendario.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de Sustentaciones Nº 001 de la Escuela Profesional de Agronomía.


Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del trabajo de investigación en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 21:00 horas, el mismo día, 12 de enero de 2024.





UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN


FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS


Acta de sustentación de trabajos de investigación conducentes a grados
y títulos Nº 001-2024

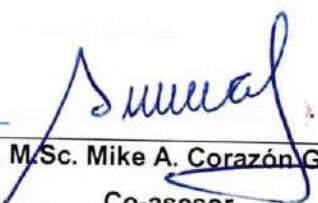

Ing. M.Sc. José Carlos Rojas García
Secretario del jurado


Dr. Carlos Daniel Vecco Giove
Presidente del jurado


Ing. M.Sc. Harry Saavedra Alva
Vocal del jurado


Bach. Jefferson Andre Alfaro Oblitas
Autor


Dr. Agustín Cerna Mendoza
Asesor


Ing. M.Sc. Mike A. Corazón Guivín
Co-asesor

Declaratoria de autenticidad

Jefferson Andre Alfaro Oblitas, con DNI N° 73357192, egresado de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 12 de octubre del 2023



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jefferson', written over a horizontal line.

Jefferson Andre Alfaro Oblitas

D.N.I. 73357192

Ficha de Identificación

<p>Título del proyecto Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (<i>Coffea arabica</i> L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín</p>	<p>Área de investigación: Ciencias Agrarias Línea de investigación: Conservación de recursos genéticos y biotecnología. Sub línea de investigación: Biotecnología, protección de cultivos, bioprospección y recursos genéticos. Grupo de investigación: Genética, biodiversidad y biotecnología (Nº 155-2022-UNSM/FCA/CF) Tipo de investigación: Aplicada Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Jefferson Andre Alfaro Oblitas</p>	<p>Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía https://orcid.org/0000-0002-5798-3680</p>
<p>Asesor: Dr. C. Agustín Cerna Mendoza</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio: Laboratorio de Biología y Genética Molecular https://orcid.org/0000-0002-4827-9966</p>
<p>Co-asesor: Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón Güivin</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio: Laboratorio de Biología y Genética Molecular https://orcid.org/0000-0001-6027-4255</p>

Dedicatoria

A mi querida madre, por el apoyo incondicional y la confianza brindada durante todo este tiempo, para seguir firme en mis objetivos, así mismo a mis abuelos, que con sus consejos y apoyo hicieron que logre cada una de mis metas.

Agradecimientos

A Dios todo poderoso por brindarme la vida y la salud, así tener esta grata experiencia y culminar de manera exitosa mis estudios universitarios.

A la Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ciencias Agrarias – Escuela Profesional de Agronomía, por acogerme durante cinco años, brindándome las mejores enseñanzas a través de su excelente plana de docentes con los que cuenta, así contribuir con mi formación profesional.

A mi asesor Dr. Agustín Cerna Mendoza, por ser un excelente docente y por el apoyo brindado durante todo el período del trabajo de investigación.

A mi co-asesor Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazón Güivin, por la oportunidad de formar parte de su gran equipo, por el apoyo y sus enseñanzas compartidas en el transcurso de la tesis.

Índice general

FICHA DE IDENTIFICACIÓN	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos	8
Índice general	9
índice de tablas.....	11
Índice de figuras	11
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Fundamentos teóricos.....	19
3.1.1. Hongos micorrícicos arbusculares	19
3.1.2. Origen, distribución y diversidad de los HMA.....	20
3.1.3. Ubicación taxonómica.....	20
3.1.4. Descripción morfológica.....	22
3.1.5. Ecología.....	23
3.1.6. Dispositivos de operación de los HMA.....	24
3.1.7. Cultivo de café	25
3.1.8. Diversidad de HMA en plantaciones de café.....	25
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	27
3.1.1. Contexto de la investigación	27
3.1.2. Periodo de ejecución	28
3.1.3. Autorización y permisos.....	28
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	29
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	29
3.2. Sistema de variables	29
3.2.1. Independientes	29
3.2.2. Dependientes.....	29

3.2.3.	Otras variables independientes o interferentes	29
3.3.	Procedimiento de la investigación	30
3.3.1.	Instalación del diseño experimental	30
3.3.2.	Evaluación de variables del desarrollo y estado fisiológico de plantas de café	31
3.3.3.	Evaluación de la diversidad de HMA presentes en suelo rizosférico de plantas de café	32
3.3.4.	Evaluación del porcentaje de colonización micorrícica en el sistema radicular de plantas de café	35
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
4.1.	Efectos sobre las características del desarrollo y el estado fisiológico	38
4.1.1.	Altura de planta.....	38
4.1.2	Diámetro de tallo.....	41
4.1.3	Contenido de clorofila	45
4.1.4.	Número de hojas.....	48
4.2.	Diversidad de esporas HMA.....	51
4.3.	Porcentaje de colonización micorrícica	56
4.4.	Análisis integrado de las variables de desarrollo y diversidad	61
Conclusiones		62
Recomendaciones		63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		64
ANEXOS.....		80

índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de los HMA basado en Oehl et al., (2011).....	21
Tabla 2 Clasificación de los HMA basado en Oehl et al., (2011).....	21
Tabla 3 Ubicación política de localidades de muestreo.....	28
Tabla 4 Características físico - químicas de suelo de parcelas de investigación.....	28
Tabla 5 Descripción de los tratamientos	30
Tabla 6 Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Huayali.....	44
Tabla 7 Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Barranquita	44
Tabla 8 Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Requena	45
Tabla 9 Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Palmiche	45
Tabla 10 Análisis de varianza número de hojas, zona Huayali.....	49
Tabla 11 Análisis de varianza número de hojas, zona Barranquita	50
Tabla 12 Análisis de varianza número de hojas, zona Requena	50
Tabla 13 Análisis de varianza número de hojas, zona Palmiche.....	50
Tabla 14 Análisis de varianza abundancia de esporas.....	52
Tabla 15 Características morfológicas de las morfoespecies de HMA recuperadas en muestras de 50 g de suelo.....	53
Tabla 16 Análisis de varianza de la riqueza de especies	54
Tabla 17 Análisis de varianza de la riqueza de especies	55
Tabla 18 Análisis de varianza colonización micorrícica.....	58
Tabla 19 Análisis de varianza de la respuesta de colonización micorrícica general en los niveles de parcelas	58
Tabla 20 Resultados de las pruebas de separación de medias de Tukey ($\alpha= 5\%$) para los tratamientos de inoculación en cada una de las zonas bajo estudio	59
Tabla 21 Análisis de varianza de la colonización micorrícica general en los niveles de tratamientos.....	60
Tabla 22 Resultados de las pruebas de separación de medias de Tukey ($\alpha= 5\%$) para los tratamientos de inoculación en cada una de las zonas bajo estudio	60

Índice de figuras

Figura 1 Ciclo de vida de los HMA (Souza, 2015).....	24
Figura 2 Ubicación geográfica del área de estudio	27
Figura 3 Proceso de evaluación de variables de desarrollo. A: Altura de planta, B: Diámetro de tallo, C: Contenido de clorofila	32
Figura 4 Proceso de recolección del suelo rizosférico de parcelas de café. A: Colecta de suelo rizosférico. B: Colecta de biomasa radicular. C: Muestras colectadas	33
Figura 5 Proceso de extracción y aislamiento de esporas: A) Pesado. B) Formación de la suspensión acuosa. C) Tamizado. D) Adición de sacarosa. E) Fases formadas. F) Recuperación de sobrenadante. G) Centrifugado. H) Sobrenadante en tamiz. I) Sobrenadante en placa de Petri. J) Aislamiento y separación de esporas. K) Grupos de esporas seleccionadas por morfotipos.....	34
Figura 6 Método de tinción de raíces. A. Preparación en tubos de ensayo; B: Inmersión de raíces en KOH; C: Inmersión de raíces en azul de tripano; D: Tratamiento térmico de las raíces; E: Baño maría	36
Figura 7 Escala de evaluación del porcentaje de colonización en raíces (Trouvelot et al., 1985)	36
Figura 8 Diagrama de cajas para la altura de planta evaluados en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los índices indican los niveles de significación según la comparación de rangos de Kruskal-Wallis ($X^2= 28,41082$; g.l. = 3; $t = 2,977834 e-6$ 1.972663; MSD= 20,80846).....	38
Figura 9 Distribución de los datos originales de altura de planta de café, evaluados por tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos.....	39
Figura 10 Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable altura de planta en cuatro localidades de San Martín.....	39
Figura 11 Distribución de los datos originales de diámetro de planta de café, evaluados por tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos.....	42
Figura 12 Diagrama de cajas para el diámetro de planta evaluados en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Un análisis estadístico no es adecuado por presentar heterogeneidad de varianzas entre parcelas.....	43
Figura 13 Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable diámetro de plantas de café en cuatro localidades de San Martín	43

Figura 14 Distribución de los datos originales del contenido de clorofila en plantas de café en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos.....	46
Figura 15 Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable contenido de clorofila (SPAD) en plantas de café en cuatro localidades de San Martín	46
Figura 16 Distribución de los datos del número de hojas de café, evaluados por cada tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos	48
Figura 17 Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable número de hojas en plantas de café, en cuatro localidades de San Martín	49
Figura 18 Diagrama de cajas para la abundancia general de esporas recuperadas en muestras de suelo de 50 g en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los índices muestran el nivel de significación según la prueba de separación de medias de Tukey al 5 %.....	52
Figura 19 Gráfico de interacción de la abundancia general de esporas entre los tratamientos y localidades de estudio en San Martín	52
Figura 20 Imágenes de algunas morfoespecies caracterizadas.....	54
Figura 21 Análisis de similaridad de Bray-Curtis usando valores de abundancia de esporas. A) Tratamientos, y B) localidades	56
Figura 22 Distribución de porcentajes de colonización micorrícica en plantas de café, evaluados por cada tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos	57
Figura 23 Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable porcentaje de colonización micorrícica en plantas de café en cuatro localidades de San Martín.....	57
Figura 24 Diagrama de cajas para la colonización general de HMA por tratamiento en cuatro localidades evaluadas.....	59
Figura 25 Diagrama de cajas para la colonización general de HMA por tratamiento en cuatro localidades evaluadas.....	60
Figura 26 Diagrama de red que representa el grado de relación entre las variables del desarrollo y diversidad de HMA en cuatro localidades evaluadas.....	61

RESUMEN

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) cumplen un rol fundamental en la nutrición y resistencia de las plantas terrestres, además de ayudar a la fertilidad de los suelos. El cultivo de café siendo uno de los más importantes económicamente en el mundo; forma asociaciones con HMA que promoverían su desarrollo. El presente estudio tuvo por objetivo general evaluar el efecto de estos dos hongos micorrícicos arbusculares (HMA) sobre el desarrollo vegetativo de plantas de café, variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín. Se instalaron parcelas experimentales en las localidades de Barranquita (Moyobamba, Jepelacio), Huayali (Picota, Tres Unidos), Requena (El Dorado, San Martín de Alao) y Palmiche (Lamas, Pinto Recodo). Se inocularon plantas de café, variedad caturra, con las cepas nativas *Rhizoglyphus variabile* (100 %) y *Nanoglyphus plukenetiae* (100 %), su combinación (1:1), las cuales se compararon con un control sin inoculación. Por 300 días se evaluaron la altura de la planta, el diámetro de tallo, el número de hojas y el contenido de clorofila por el método del *Soil Plant Analysis Development* (SPAD). En muestras de suelo y rizósfera asociado con cada planta se determinó la abundancia general de esporas de HMA, la riqueza de morfoespecies, la estructura de Shannon Wiener (H') y el índice de disimilitud de Bray- Curtis, además del porcentaje de colonización general de HMA. *R. variabile* estuvo asociado con un incremento en altura, diámetro de tallo y contenido de clorofila. La inoculación no presentó efectos adversos sobre la diversidad general de HMA, aunque sí se encontraron efectos ambientales de cada localidad o parcela. Como limitación, no se determinó la prevalencia de los inoculantes empleados como tratamientos. *N. plukenetiae* mostró un alto porcentaje de colonización más asociado al comportamiento de la especie por su estrategia de vida en términos ecológicos. Se concluye que la inoculación micorrícica con *R. variabile* promueve un mayor desarrollo vegetal, evidenciado en altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y contenidos de clorofila en plantas de café, variedad caturra, de 10 meses, en las cuatro localidades. Se recomienda incorporar la cepa de *R. variabile* en los programas de asistencia técnica, como un insumo que coadyuva al desarrollo del café en el primer año de establecimiento del cultivo. Sigüentes investigaciones deben profundizar en los estudios de identidad taxonómica y respuesta de la estructura comunitaria de HMA a la inoculación.

Palabras clave: HMA, *Rhizoglyphus variabile*, *Nanoglyphus plukenetiae*, biofertilizantes.

ABSTRACT

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play a fundamental role in the nutrition and resistance of terrestrial plants, in addition to helping soil fertility. Coffee is one of the most economically important crops worldwide; it forms associations with AMF that promote its development. The general objective of the present study was to evaluate the effect of these two arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the vegetative development of coffee plants, of the caturra variety, in four provinces of the San Martín region. Experimental plots were installed in the localities of Barranquita (Moyobamba, Japelacio), Huayali (Picota, Tres Unidos), Requena (El Dorado, San Martín de Alao) and Palmiche (Lamas, Pinto Recodo). Coffee plants, caturra variety, were inoculated with native strains *Rhizoglyphus variabile* (100 %) and *Nanoglyphus plukenetiae* (100 %), their combination (1:1), which were compared with a control without inoculation. For 300 days, plant height, stem diameter, number of leaves and chlorophyll content were evaluated by the Soil Plant Analysis Development (SPAD) method. In soil and rhizosphere samples associated with each plant, overall AMF spore abundance, morphospecies richness, Shannon Wiener structure (H') and Bray-Curtis dissimilarity index, and overall AMF colonization percentage were determined. *R. variabile* was associated with an increase in height, stem diameter and chlorophyll content. Inoculation had no adverse effects on overall AMF diversity, although environmental effects of each location or plot were found. As a limitation, the prevalence of the inoculants used as treatments was not determined. *N. plukenetiae* showed a high percentage of colonization more associated with the behavior of the species due to its life strategy in ecological terms. It is concluded that mycorrhizal inoculation with *R. variabile* promotes greater plant development, evidenced in plant height, stem diameter, number of leaves and chlorophyll content in coffee plants, caturra variety, 10 months old, in the four locations. The incorporation of the *R. variabile* strain in technical assistance programs is recommended, as an input that contributes to the development of coffee in the first year of crop establishment. Further research should deepen studies on taxonomic identity and the response of the AMF community structure to inoculation.

Keywords: AMF, *Rhizoglyphus variabile*, *Nanoglyphus plukenetiae*, biofertilizers.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El café es un producto agrícola de gran importancia en el mercado internacional (Julca et al., 2013). Los principales productores son: Brasil, Vietnam y Colombia.

El Perú ocupa el noveno lugar en producción a nivel mundial. Así mismo, dentro de territorio nacional el café se cultiva en 11 regiones, entre las cuales destaca la de San Martín (Rojas et al., 2021). En 2020 esta región presentó una producción de 181,3 mil toneladas con un rendimiento de 1 011 kg/ha (Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri], 2020). Colocándonos por encima del promedio nacional (772 kg/ha).

El departamento presenta una problemática muy similar al de la caficultura peruana en general; caracterizada por una baja competitividad asociada con bajos niveles productivos y un descenso de la calidad, ya sea por deficientes prácticas culturales, el agotamiento de los suelos o la proliferación de problemas sanitarios, entre otros factores.

Arteaga (2019) en San Martín logró identificar taxonómicamente 31 especies de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) de suelo rizosférico de 12 localidades en café e informó la dominancia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*.

Los HMA son microorganismos que mejoran la absorción de nutrientes y promueven una mayor resistencia a plagas y enfermedades (Smith y Read, 2008). Aunque se ha demostrado el efecto positivo de los HMA sobre el crecimiento vegetativo y la salud fisiológica de diferentes cultivos, se ha evaluado poco el potencial de estos microorganismos nativos sobre las plantas de café en campo definitivo, de manera que se desconocen los beneficios que podrían brindar estos organismos a dicho cultivo. La posibilidad de aprovechar los HMA constituye una oportunidad para mejorar la gestión del cultivo en suelos con limitaciones de fertilidad, gracias al aprovechamiento de estas asociaciones simbióticas.

De hecho, en bioensayos realizados con plántones de café inoculados con *Rhizoglomus variabile* y *Nanoglomus plukenetiae*, se obtuvo que las plantas de café presentaron un mayor desarrollo morfológico en comparación con los tratamientos sin inocular (Romero, 2019).

A partir de la hipótesis de que el uso de inóculos de dos hongos micorrícicos arbusculares: *R. variabile* y *N. plukenetiae*, promueve el desarrollo de plantas de café en el primer año de estalación del cultivo, el objetivo principal de la presente investigación fue **evaluar el efecto de estos dos hongos micorrícicos arbusculares (HMA) sobre el desarrollo**

vegetativo de plantas de café, variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín. No obstante, fue preciso considerar la respuesta de la dinámica de HMA presentes en las diversas localidades y el efecto de los tratamientos sobre la colonización micorrícica en el cultivo.

En dicho sentido, se desarrollaron tres objetivos específicos:

- a. Evaluar la fenología de desarrollo de plantas de café, variedad caturra, previamente inoculadas con HMA en parcelas de cuatro provincias de la región San Martín.
- b. Evaluar la diversidad de esporas de HMA presentes en suelo rizosférico asociado con plantas de café, variedad caturra, previamente inoculadas con HMA en parcelas de cuatro provincias de la región San Martín.
- c. Determinar el porcentaje de colonización micorrícica en el sistema radicular de plantas de café, variedad caturra, previamente inoculadas con HMA en parcelas de cuatro provincias de la región San Martín.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Trejo et al. (2011) en Veracruz, México, comprobaron el efecto de siete consorcios de HMA en plantas de café. Observaron efectos a partir de los 30 días después del trasplante, los cuales prevalecieron hasta los 120 días. Las plantas inoculadas presentaron una supervivencia de aproximadamente el 80 %; en cambio el testigo sin HMA solo obtuvo un 60 %.

Saboya (2018) evaluó el efecto de HMA nativos en plántulas de café variedad caturra bajo condiciones de vivero ubicado en el centro poblado de Alto Chontal – Lamas de la región San Martín. Consideró fuentes de inóculo HMA nativos (1 500 esporas) recogidas en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, Rioja y Huallaga). La fuente de inóculo de El Dorado (con 46,95 % [a]) presentó un mayor porcentaje de colonización micorrícica, frente a los tratamientos de Rioja (31,82 % [b]), Huallaga (28,9 % [b]) y Lamas (26,26 % [b]), los cuales no difirieron estadísticamente.

Romero (2018) encontró efectos significativos de la asociación simbiótica de micorrizas sobre el desarrollo vegetativo en plantas de café inoculadas en la etapa de vivero: *Rhizoglyphus intraradices* promovió significativamente un incremento de los valores de altura de planta, diámetro de tallo, contenido de clorofila, área foliar y número de hojas, en contraste con *Diversispora* spp. y el consorcio *R. intraradices* + *Diversispora* spp, y un tratamiento de control. Ambos tratamientos micorrícicos registraron un buen nivel de colonización radicular, del 88,6 % y 85,4 %, respectivamente.

Arteaga (2019) registró diferencias altamente significativas al nivel de colonización radicular de micorrizas en campos de café en tres localidades de San Martín: Palmeras (Moyobamba) con 31,1 %, Pueblo Nuevo 26,4 % y Nuevo Lamas 27,7 %.

Romero (2019) evaluó en vivero el efecto bioprotector de tres consorcios de hongos micorrícicos arbusculares nativos de las provincias de Moyobamba, El Dorado y Huallaga, en plantones de café en tres variedades (caturre, pache y nacional). La variedad pache alcanzó el mayor promedio de colonización micorrícica con 23,56 % [a], sobreponiéndose a las variedades caturra y nacional que no tuvieron diferencias estadísticas entre si (19,68 % [b] y 19,31 % [b] respectivamente), a nivel de inóculos resaltaron los consorcios de El Dorado y Huallaga (31,61 % [a] y 29,57 % [a], respectivamente), los cuales fueron

superiores significativamente a los valores alcanzados por el consorcio en Moyobamba (22,22 % [b]).

Corazon-Guivin et al., (2019) informaron *Nanoglomus plukenetiae* como nueva especie de hongos micorrícicos arbusculares en el suelo recolectado en parcelas de sacha inchik (*Plukenetia volubilis*) asociado con maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en San Martín. Song et al. (2019) reportaron *Rhizoglomus variable* en muestras de suelo de los mismos cultivos en la localidad de Alto Palmiche, provincia de Lamas, región San Martín.

Vallejos (2021) encontró diferencias significativas al evaluar parámetros fisiológicos en café variedad caturra con aplicación de HMA, inóculos procedentes de Huallaga, El Dorado y Moyobamba. En las variables evaluadas destacó la cepa proveniente de Huallaga: altura de planta (57,3 cm), contenido de clorofila (58,4 SPAD) y colonización radicular (64,81 %).

Al-Yahya'ei et al., (2021) en el sur de la Península Arábiga, inocularon cepas de HMA tanto nativas como exóticas en plantas de *Phoenix dactylifera* L. y *Prosopis cineraria* L., con un mejor establecimiento en campo definitivo por las especies nativas. Asimismo, encontraron que la inoculación de HMA exóticos puede alterar la estructura de las comunidades nativas de HMA.

2.2. Fundamentos teóricos

3.1.1. Hongos micorrícicos arbusculares

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) forman asociaciones con el 72 % de las plantas terrestres (Brundrett y Tedersoo, 2018). Por su naturaleza biotrófica obligatoria, los HMA necesitan de un hospedero que proporciona fuentes de carbono desde los fotosintatos producidos por la planta, a través de la fotosíntesis, la que a su vez retribuye con diferentes beneficios nutricionales por la movilización del fósforo y otros macro y micronutrientes, desde las capas profundas del suelo. Además, los HMA brindan resistencia ante la variación de los factores bióticos o abióticos (Smith y Read, 2008).

Además de los beneficios nutricionales para las plantas, los HMA cumplen un rol fundamental en la conservación de los ecosistemas; en el mejoramiento del suelo, en la formación de agregados y por la minimización de la pérdida de nutrientes (Cavagnaro et al., 2015; Morris et al., 2019); También interactúan con la microbiota del suelo y favorecen la relación con los microorganismos benéficos (Artursson et al., 2006; Jeffries et al., 2003).

3.1.2. Origen, distribución y diversidad de los HMA

a. Origen

Estudios indican que la interacción simbiótica de los HMA con las plantas pudo haber comenzado hace más de 400 millones de años (Simon et al., 1993). Sin embargo, el origen exacto de los HMA aún es especulativo, pudiendo situarse entre los periodos Ordoviciano (510–439 m.a) y Devoniano (409–354 m.a). Sin embargo, el estudio de registros fósiles apoyado con herramientas moleculares indica que los HMA pudieron haberse originado en la era Pre-Cambriana, hace 600 m.a. (Redecker et al., 2000).

Los HMA han estado presentes desde la aparición de las primeras plantas terrestres, como las briofitas y las pteridofitas; como un elemento de adaptación de estas plantas (Strullu-Derrien et al., 2018; Van der Heijden et al., 2015).

b. Distribución

Los HMA están distribuidos a nivel global y pueden encontrarse en varios ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos (Queiroz et al., 2020), y en diferentes biomas como bosques, praderas, sabanas, pastizales, manglares, desiertos, así como también las zonas climáticas tropicales, subtropicales, neotropicales, templadas, y boreales/australes (Stürmer et al., 2018; Stürmer y Kimmelmeier, 2021). La mayoría de géneros de HMA presentan un bajo endemismo, representado por el 26 % de las especies conocidas (Davison et al., 2015; Stürmer et al., 2018).

Los ecosistemas actúan como filtros ecológicos que moldean las comunidades de HMA, y por lo tanto, la presencia de algunas especies y la ausencia de otras (Kivlin et al., 2011; Vályi et al., 2016).

c. Diversidad

La diversidad conocida de HMA en los últimos años ha ascendido aproximadamente a 350 especies (Goto y Jobim, 2015). Aunque los estudios de estimación de la riqueza total proyectan que la riqueza real puede alcanzar hasta las 2 600 especies (Kivlin et al., 2011; Maarja Öpik et al., 2013).

3.1.3. Ubicación taxonómica

El filo Glomeromycota que agrupa a los HMA posee tres clases (Glomeromycetes, Archaeosporomycetes y Paraglomeromycetes), seis ordenes (Glomerales, Entrophosporales, Diversisporales, Gigasporales, Archaeosporales y Paraglomerales), 17 familias, 50 géneros y aproximadamente 357 especies.

Tabla 1
Clasificación de los HMA basado en Oehl et al., (2011)

Clase	Orden	Familia	Genero	Especies	
Archaeosporomycetes	Archaeosporales	Ambisporaceae	<i>Ambispora</i>	11	
		Archaeosporaceae	<i>Archaeospora</i>	6	
			<i>Intraspora</i>	1	
			<i>Palaeospora</i>	1	
			<i>Geosiphon</i>	1	
		Polonosporaceae	<i>Polonospora</i>	1	
Glomeromycetes	Diversisporales	Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i> (= <i>Kuklospora</i> especies)	62	
		Diversisporaceae	<i>Corymbiglomus</i>	3	
			<i>Desertispora</i>	1	
			<i>Diversispora</i>	25	
			<i>Otospora</i>	1	
			<i>Redeckera</i>	6	
			<i>Sieverdingia</i>	1	
		Gigasporales	Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>	7
			Sacculosporaceae	<i>Sacculospora</i>	2
			Dentiscutataceae	<i>Dentiscutata</i>	9
	<i>Fuscutata</i>			5	
	<i>Quatunica</i>			1	
	<i>Gigaspora</i>			7	
	Intraornatosporaceae		<i>Intraornatospora</i>	1	
			<i>Paradentiscutata</i>	2	
	Racocetraceae		<i>Cetraspora</i>	8	
			<i>Racocetra</i>	14	
	Scutellosporaceae	<i>Bulbospora</i>	1		
		<i>Orbispora</i>	2		
		<i>Scutellospora</i>	11		
Entrophosporales	Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>	12		
Glomerales	Glomeraceae	<i>Dominikia</i>	13		
		<i>Epigeocarpum</i>	1		
		<i>Funneliformis</i>	13		

Tabla 2
Clasificación de los HMA basado en Oehl et al., (2011)

Clase	Orden	Familia	Genero	Especies
Glomeromycetes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Funneliglomus</i>	1
			<i>Glomus</i>	58
			<i>Halonatospora</i>	1
			<i>Kamienskia</i>	1
			<i>Microdominikia</i>	1
			<i>Microkamienskia</i>	3

			<i>Nanoglomus</i>	1
			<i>Oehlia</i>	1
			<i>Orientoglomus</i>	1
			<i>Rhizoglomus</i>	23
			<i>Sclerocarpum</i>	1
			<i>Sclerocystis</i>	8
			<i>Septoglomus</i>	14
			<i>Silvaspora</i>	1
			<i>Simiglomus</i>	1
			<i>Viscospora</i>	1
Paraglomeromycetes	Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Innospora</i>	1
			<i>Paraglomus</i>	8
		Pervetustaceae	<i>Pervetustus</i>	1

3.1.4. Descripción morfológica

Los HMA forman diferentes estructuras especializadas que cumplen diferentes funciones durante su proceso de simbiosis con el hospedero.

Las esporas, también denominadas “glomerosporas” cuando se trata de las esporas del filo Glomeromycota (Goto y Maia, 2006), son consideradas la unidad basal de la taxonomía; ya que su estudio fundamenta la identificación de una especie.

Las **esporas** pueden desarrollarse en el suelo solitariamente o en esporocarpos; es decir pequeños agregados o agrupaciones de esporas unidas débilmente o “glomerocarpos” (Jobim et al., 2019). Se desarrollan dentro de las raíces del hospedero específico (Sieverding et al., 2014); varían en color, forma, ontogenia, tamaño, ornamentación, grupo de paredes y otras características dependiendo de la especie (Goto, 2009; Jobim, 2020). La función de las esporas es reproductiva como principales unidades de supervivencia de los HMA.

Los **arbúsculos** son ramificaciones finas formadas por las hifas intrarradicales en el interior de las células corticales del hospedero. La formación de estos puede ser de dos tipos: *arum* (hifas lineares) o *paris* (hifas espiraladas) (Dickson, 2004).

La formación de arbúsculos generalmente suele ocurrir a los dos días del establecimiento de la simbiosis, pero cuenta con un periodo corto de vida, ya que comienza a colapsar luego de algunos días (Brundrett et al., 1985). Los arbúsculos participan en el intercambio directo de nutrientes hongo - hospedador (Smith y Read, 2008).

Las **vesículas** son estructuras de almacenamiento de nutrientes de reserva, pero en algunas ocasiones pueden tener función reproductiva formando esporas (Berbara et al.,

2006). Son estructuras originadas por las hifas intra radicales, al desarrollarse intra o extracelularmente en la zona cortical de la raíz.

La formación de vesículas ocurre en la mayoría de los géneros del filo, con excepción de Gigaspora, Scutellospora, Racocetra, Cetraspora, Orbispora, Bulbospora, Dentiscutata, Fuscitata, Quatunica, Intraornatospora y Paradentiscutata (Morton y Benny, 1990; Oehl et al., 2011)

Las **hifas** pueden ser extra radicales (formadas en el suelo) e intrarradicales (formadas en el interior de la raíz), con la misma composición celular, pero variando únicamente por su diámetro (Souza, 2015). Las hifas tienen múltiples funcionalidades, como la adquisición de nutrientes del suelo y el transporte de estos entre los simbioses (nutrición), o la colonización de las raíces del hospedador (infección) (Souza, 2015).

Las **células auxiliares** son formadas exclusivamente por las hifas extra radicales en los géneros del orden Gigasporales (Morton y Benny, 1990; Souza, 2015). Las funciones de las células auxiliares son de nutrición y almacenamiento de sustancias de reserva.

3.1.5. Ecología

En el mundo hay alrededor de 200 000 especies vegetales que establecen una relación simbiótica con los HMA. Cada planta muestra una forma diferente de ensamblaje con las micorrizas que se encuentran en el suelo (Wang y Qiu, 2006; Brundrett, 2009; van der Heijden et al., 2015). Las poblaciones de HMA son afectadas por la locación geográfica y la altura (Senés-Guerrero y Schübler, 2016; Zhao et al., 2017), las precipitaciones pluviales (Zhang et al., 2016) o por la etapa fenológica de la planta (Senés-Guerrero et al., 2014).

En los ecosistemas naturales hay una mejor adaptación por parte de la comunidad de HMA nativos, sucediendo lo contrario con hongos introducidos o exóticos al momento de expresar los aportes o beneficios sobre la planta hospedera y con afectación al microbiota nativo existente (Chebaane et al., 2020).

Estudios indican que la comunidad de HMA depende de la relación hongo-hospedador, de la comunidad de plantas, de las características climáticas, de la ubicación geográfica y las condiciones edafológicas; las cuales actúan como filtros ecológicos que moldean las comunidades de HMA (Chaudhary et al., 2008; Vályi et al., 2016; Schoen et al., 2021).

3.1.6. Dispositivos de operación de los HMA

- Crecimiento y desarrollo

La simbiosis depende de factores externos (ambientales) e internos (señales químicas y moleculares) (Souza, 2015). El desarrollo de la simbiosis comienza con la germinación de una espора, bajo condiciones favorables de humedad, temperatura, pH y microorganismos, entre otros factores (Dalpé et al., 2005). A esta fase se la conoce como asimbiótica; porque no depende de una planta hospedadora, más si de los metabolitos y la información genética de la espора para iniciar la germinación y el consecuente crecimiento de la hifa (Mosse, 1959).

La siguiente fase inicia con el contacto de la hifa con la raíz de las plantas (Siqueira et al., 1985). En este contacto se desencadena el quimiotropismo, consistente en la producción de exudados por la raíz los cuales actúan como precursores de la ramificación e incrementan la actividad metabólica del HMA, conllevando a la formación del apresorio (Souza, 2015; Zsögön et al., 2008). La formación del apresorio es el inicio de la fase simbiótica que conlleva al crecimiento del micelio intrarradical y la formación de arbusculos (Kiriachek et al., 2009; Ramos et al., 2008). El ciclo de vida de los HMA sólo es completado cuando ocurren con éxito las tres fases de la simbiosis (Figura 1).

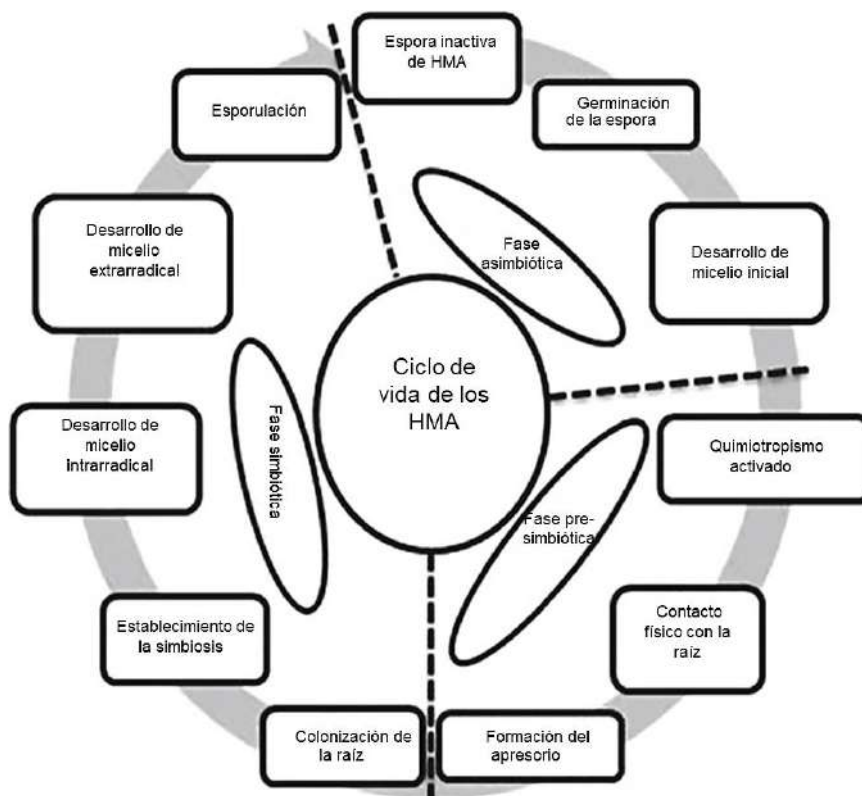


Figura 1
Ciclo de vida de los HMA (Souza, 2015)

3.1.7. Cultivo de café

a. Ubicación taxonómica (ITIS, 2022)

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: *Coffea* L.

Especie: *Coffea arabica* L.

b. Generalidades del cultivo

El cultivo de café se ha tornado en una actividad agrícola importante en la mayoría de los países de Latinoamérica (Carvalho et al., 2019). El Perú está considerado como uno de los 10 principales países productores de café (Ruslan y Prasetyo, 2021).

Coffea arabica L. es la especie más cultivada, representando cerca del 99 % de la producción mundial y gozando del 70 % de aceptación por parte de los consumidores (Camargo, 2010; DaMatta y Ramalho, 2006).

El cultivo de café se encuentra en bosques tropicales, entre 700 y 2 800 m.s.n.m., con temperaturas entre 15 y 24 °C, y precipitaciones pluviales de hasta 1 500 mm/ año (Camargo, 2010; Willson, 1985).

El rendimiento del café depende de la variabilidad ambiental y de la calidad del manejo agrícola (Camargo, 2010), en función del sistema de plantación (Jezeer et al., 2018) y tipo de suelo (Teixeira et al., 2021).

3.1.8. Diversidad de HMA en plantaciones de café

- Beneficios de los HMA en el café

El café establece interacciones con distintas especies de micorrizas, según el sistema de plantación (Barros et al., 2022), las condiciones del suelo (Lara et al., 2021) y la edad del cultivo (Aguila et al., 2022). El efecto de los HMA en el cultivo de café demostró el incremento del crecimiento por la mejora la adquisición de fósforo (Fonseca et al., 2019; Perea et al., 2019; Vaast et al., 1997). Además de la propiedades nutricionales que son evidenciadas por el aumento de la biomasa y la productividad de la planta, se demostró una mayor eficacia sobre la tasa fotosintética, conductancia estomática, entre otras variables fisiológicas (de Sousa et al., 2020). Asimismo, la aplicación de HMA en café

ayudaría a reprimir las poblaciones de nematodos (*Meloidogyne* spp.) (Vallejos et al., 2021).

- Factores que determinan la supervivencia de las poblaciones de micorrizas en los cafetales

El éxito en el aumento poblacional de especies de HMA depende de los sustratos y los hospedantes utilizados. Un estudio demuestra que la diversidad de HMA varía según los sustratos utilizados para la multiplicación de hongos (Corazon-Guivin et al., 2022; Dos Passos et al., 2020; Leal et al., 2009). Esta es una condición que interfiere en el desarrollo fúngico y la colonización en la raíz (Baylis, 1959). El uso de inoculantes micorrícicos mejora las condiciones de salud de la planta mejorando su adaptabilidad a diferentes sustratos y condiciones (Moraes et al., 2004; Yadav et al., 2013) y sus características fisiológicas y bioquímicas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

El trabajo de investigación se desarrolló en dos ámbitos:

la parte de estudio y análisis, en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM).

la parte experimental de campo definitivo, en cuatro parcelas en distintas provincias del departamento de San Martín.

a. Ubicación geográfica

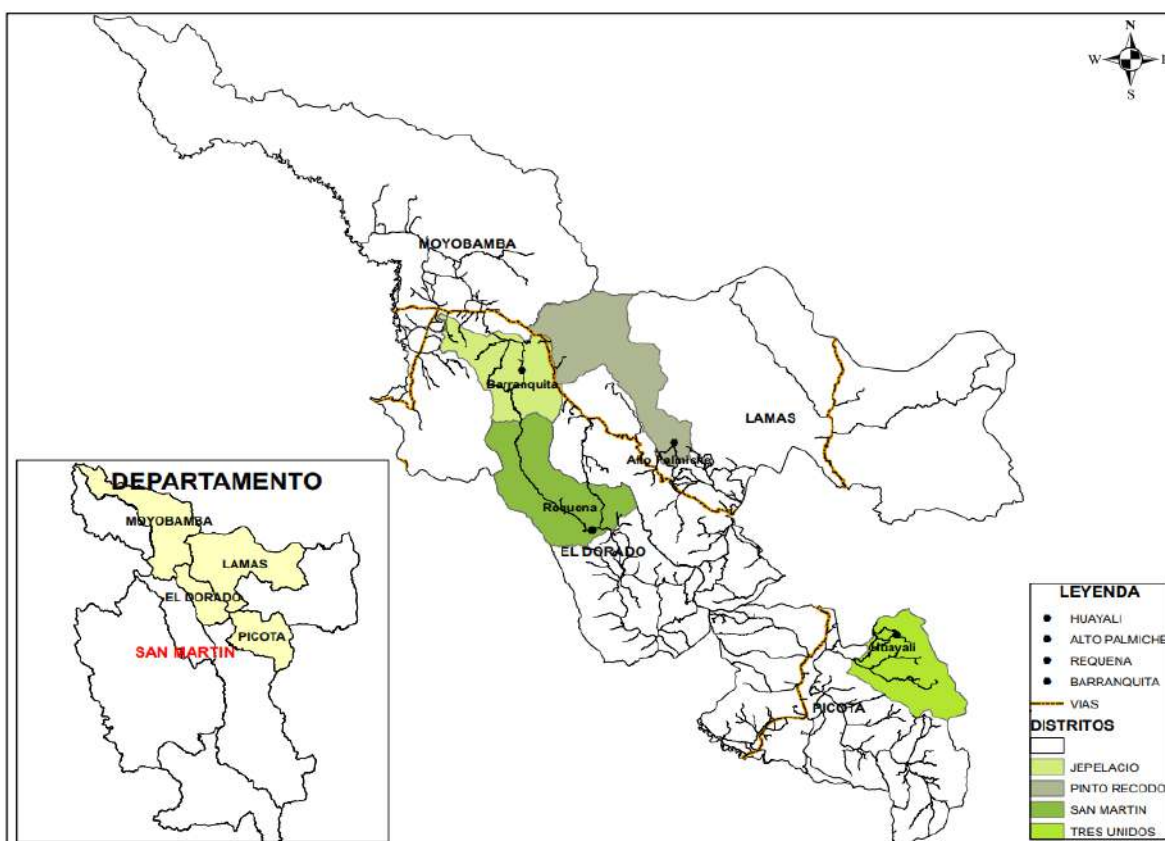


Figura 2

Ubicación geográfica del área de estudio

b. Ubicación política

Tabla 3
Ubicación política de localidades de muestreo

Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	Latitud Sur	Latitud Oeste	Altitud m s.n.m.
San Martín	Moyobamb a	Jepelacio	Barranquita	- 6,173644°	-76,895767°	1 039
San Martín	Picota	Tres Unidos	Santa Rosa de Huayali	- 6,743699°	-76,151390°	781
San Martín	El Dorado	San Martín de Alao	Requena	- 6,518321°	-76,757419°	442
San Martín	Lamas	Pinto Recodo	Alto Palmiche	- 6,330529°	-76,594093°	974

En adelante se llamará: Santa Rosa de Huayali (Huayali) y Alto palmiche (Palmiche).

c. Caracterización de los suelos en cada parcela

Tabla 4
Características físico - químicas de suelo de parcelas de investigación

Zona	Suelo							Clima		Estado
	pH	CE	MO	P	K	Tex.	CIC	PP	T	
Palmiche	6,22	0,32	3,2	14,5	233	Fr.A.	14,4	1	24	Óptimo
Requena	7,46	0,32	1,9	12,1	125	Fr.A.	15,5	1	26	Aceptable
Huayali	3,82	0,08	2,6	4,0	88	Fr.Ar. A	15,6	976	25	Limitado
Barranquit a	5,57	0,32	6,5	8,7	371	Fr.A.	24,0	1	23	Óptimo
								300		

Fuente: Laboratorio de suelos Universidad Agraria la Molina (UNALM).

Leyenda:

Tex: Textura de suelo. Fr.A. (franco arcilloso); Fr.Ar.A (franco arcillo arenoso).

Estado: condiciones de desarrollo para café, basado en (MINAGRI, 2010).

pH: potencial de hidrógeno.

CIC: Capacidad de intercambio Catiónico (meq/ 100 g suelo).

CE: Conductividad eléctrica (mS/cm).

MO: Materia orgánica (%).

PP: Precipitación pluvial (mm/ año).

T: temperatura media ambiental (°C).

P: fósforo en ppm (mg/100 g).

K: potasio en ppm (mg/100 g).

3.1.2. Periodo de ejecución

El trabajo de investigación se ejecutó entre julio 2019 y abril de 2020.

3.1.3. Autorización y permisos

La recolección de muestras se realizó previa autorización y permiso los dueños del predio.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

- El proyecto de investigación se rigió por los protocolos de bioseguridad establecidos para laboratorios en sedes y filiales de la Universidad Nacional de San Martín y aprobados con resolución Nº 298-2018-UNSM/CU-R/NLU.
- Los responsables y colaboradores de este proyecto se rigieron bajo las normas para afrontar el COVID-19 y protocolos de bioseguridad establecidos con código SL02LA28 en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular.
- Las muestras se obtuvieron sin dañar el medio ambiente o las áreas naturales protegidas.
- El laboratorio cuenta con un contrato con la empresa Ecoterra para el desecho del hidróxido de potasio (KOH) y evitar la contaminación del medio ambiente.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

La investigación respetó los principios éticos generales de la investigación, entre los que cabe destacar: totalidad/ integridad, respeto a las personas, respeto al ecosistema.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Independientes

- Zona.
- Concentración de esporas en los tratamientos.
- Identidad de las micorrizas en los tratamientos.

3.2.2. Dependientes

- Altura de planta de café en campo.
- Contenido de clorofila en hojas de café en campo.
- Diámetro de los tallos de plantas de café en campo.
- Número de hojas por planta de café en campo.
- Porcentaje de colonización radicular en plantas de café en campo.

3.2.3. Otras variables independientes o interferentes

- Plantas de café inoculadas con especies de micorrizas (*Rhizoglosum variable.* y *Nanoglosum plukenetiae*).
- Presencia posterior de otras micorrizas.
- Tiempo.
- Factores de la parcela: tipo de suelo, condiciones climáticas y manejo agronómico.

3.3. Procedimiento de la investigación

3.3.1. Instalación del diseño experimental

- a. Diseño experimental en campo
- Parcela: largo = 25 m, ancho= 25 m.
 - Tipo de diseño: Bloques Completos al Azar (DBCA).
 - Factores: Inoculación (A) x Localidades (B).
 - Factor A: cuatro niveles de inoculación con HMA.
 - Factor B: cuatro localidades-parcelas de estudio.
 - Número de bloques: 3.
 - Número de unidades experimentales: 48.
 - Unidad experimental: parcela de 625 m², con plántones de café variedad caturra.
 - Distanciamientos: 1,5 m x 1,5 m.
- b. Descripción de los tratamientos

Tabla 5

Descripción de los tratamientos

Tratamientos	Planta previamente inoculada	N° de esporas
T0	No inoculado (Control)	0
T1	Inoculado con <i>R. variable</i> (Rv)	1500
T2	Inoculado con <i>N. Plukenetiae</i> (Np)	1500
T3	Inoculado con <i>R. variable</i> + <i>N. Plukenetiae</i> (Rv + Np)	750 + 750 = 1500

Se instalaron los tratamientos consistentes en plántones de café, variedad caturra, algunos previamente inoculados con micorrizas en vivero del Laboratorio de Biología y Genética Molecular de la UNSM.

Fechas de instalación:

- Barranquita: 9/1/2019.
- Requena: 26/1/2019.
- Huayali: 30/1/2019.
- Palmiche: 15/1/2019.

3.3.2. Evaluación de variables del desarrollo y estado fisiológico de plantas de café

La primera evaluación se realizó a los 30 días de después de la instalación de las plantaciones y a partir de ella, las evaluaciones (19 en total) fueron quincenales.

a. Altura de planta

Consistió en la medida desde la base del tallo hasta el meristemo apical de 4 plantas/ parcela, empleando una regla milimétrica (cm) por 10.

b. Diámetro de tallo

Mediante el equipo vernier digital, se procedió a tomar la medida (ml) de 4 plantas/ parcela, a la altura de 1 cm de la base del tallo.

c. Contenido de clorofila

Se empleó el equipo "SPAD 520" el cual indica el contenido de clorofila (tipo A+B) relativo en el rango de 0,0 a 99,9. Se tomó cinco hojas de la parte media de 4 plantas al azar/ parcela.

d. Número de hojas

Se realizó de manera directa el conteo de las hojas ya diferenciadas de 4 plantas/ parcela.

e. Análisis estadístico

Se realizó el análisis exploratorio de los datos con la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk y la de homogeneidad de varianzas de Bartlett o Levene según caso (programa R).

- Altura de planta: se aplicó la transformación logarítmica de los datos y por no cumplir los supuestos de Normalidad, los resultados fueron sometidos a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (R).
- Diámetro del tallo: se aplicó la transformación raíz cuadrada de los datos, los cuales se ajustaron a los supuestos de Normalidad y homocedasticidad. Se realizó el análisis de varianza clásico (Anova) y aplicó la prueba de separación de medias de Tukey con una probabilidad de error del 5 %.
- Contenido de clorofila: los resultados fueron sometidos a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (R).
- Número de hojas: se aplicó la transformación logarítmica de los datos, los cuales se ajustaron a los supuestos de Normalidad y homocedasticidad. Se realizó el análisis de varianza clásico (Anova) y aplicó la prueba de separación de medias de Tukey con una probabilidad de error del 5 %.



Figura 3

Proceso de evaluación de variables de desarrollo. A: Altura de planta, B: Diámetro de tallo, C: Contenido de clorofila

3.3.3. Evaluación de la diversidad de HMA presentes en suelo rizosférico de plantas de café

Recolección y codificación de muestras biológicas

Se recolectó 50 g de biomasa radicular y 1 kg de suelo rizosférico (de 5 a 25 cm de profundidad del suelo). Posteriormente las submuestras se homogenizaron para obtener una muestra compuesta por tratamiento y cada bloque. Estas fueron debidamente codificadas y colocadas en bolsas de polietileno para ser transportadas al laboratorio (figura 3).

Aislamiento de esporas

Se utilizó el método modificado por Nicolson y Gerdemann (1963), según el siguiente protocolo:

- Pesar 50 g de suelo y suspender en 2 litros de agua.
- Agitar por 10" y dejar reposar por 20" con el objetivo de eliminar partículas grandes por sedimentación.
- Utilizar un tamiz № 250 con malla de 38 μ .
- Repetir los dos pasos anteriores hasta completar toda la muestra (aproximadamente 4 veces).
- Recoger el contenido del tamiz (conteniendo esporas) y transferir a tubos Falcon de 50 ml con gradiente de sacarosa al 20 y 60% (20 ml y 10 ml, respectivamente).
- Centrifugar los tubos a 3 500 rpm por 5 minutos para precipitar partículas de suelo y suspender las esporas hasta la interfase entre los dos azúcares.

- Pasar el sobrenadante por un tamiz de 38 micras y lavar el contenido retenido con agua para eliminar la sacarosa y dejar solo esporas.
- Finalmente, colocar el contenido limpio en una placa Petri y llevar a observación al estereoscopio.



Figura 4

Proceso de recolección del suelo rizosférico de parcelas de café. A: Colecta de suelo rizosférico. B: Colecta de biomasa radicular. C: Muestras colectadas

La cuantificación de esporas se realizó con el apoyo de registros fotográficos en un microscopio con el programa Motic Plus 2.0. las capturas se realizaron con los objetivos de 40x y 100x. La identificación taxonómica de morfoespecies se utilizó como criterio detalles morfológicos: color, forma, tamaño y posición de las hifas (The International Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi [Invam], 2017).



Figura 5

Proceso de extracción y aislamiento de esporas: A) Pesado. B) Formación de la suspensión acuosa. C) Tamizado. D) Adición de sacarosa. E) Fases formadas. F) Recuperación de sobrenadante. G) Centrifugado. H) Sobrenadante en tamiz. I) Sobrenadante en placa de Petri. J) Aislamiento y separación de esporas. K) Grupos de esporas seleccionadas por morfotipos

Evaluación de la diversidad de esporas

Con base en las características morfológicas de las esporas fueron determinadas las variables de abundancia, riqueza de morfoespecies (S), estructura de Shannon – Wiener ($H' = - \sum p_i \cdot \log p_i$; donde p_i es la proporción de esporas en cada morfoespecie) y disimilitud de Bray-Curtis. Para ello, se utilizó el paquete vegan en el software R (R Core Team, 2021).

También se aplicó un análisis de supuestos a las variables de abundancia, riqueza (S) y estructura (H'), para luego aplicar el análisis de varianza y prueba de separación de medias ya descrita.

3.3.4. Evaluación del porcentaje de colonización micorrícica en el sistema radicular de plantas de café

Se tomó una planta por cada unidad experimental.

Tinción de raíces de café

- a. Se utilizaron raíces jóvenes (secundarias y terciarias) de café, siguiendo el protocolo descrito por Phillips y Hayman (1970), más conocido como método de tinción de raíces (figura 6).
- b. Las raíces se colocaron en tubos de ensayo de 50 ml, dentro de una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% de concentración en peso/volumen, hasta cubrir la muestra, durante 24 horas.
- c. Primero las raíces colectadas en campo se ubicarán en Baño María a una temperatura de 90 °C y un tiempo de 30 minutos, teniendo como propósito remover el contenido citoplasmático y clarificar el tejido cortical.
- d. Luego se procedió a lavar tres veces con agua. A continuación, se dejó las raíces en agua oxigenada por 90 minutos a temperatura ambiente, a fin de aclarar los pigmentos de la raíz.
- e. Seguidamente se lavó las raíces 3 veces con vinagre (4,5 %), para acidificar las muestras y prepararlas para la tinción. Después se dejó las raíces en reposo para eliminar el líquido.
- f. Finalmente, las raíces se sumergieron en tinta azul de trypano al 2 % en concentración peso/volumen y colocadas en baño María a 90 °C durante 60 minutos, luego se lavaron dos o tres veces con agua.

Estimación del grado de colonización micorrícica

- a. La determinación del grado de colonización micorrícica fue calculado utilizando la metodología de (Trouvelot et al., 1985).
- b. Se colocaron 30 fragmentos por cada muestra, de un centímetro aproximado de raíz teñida con la tinta, luego se colocó paralelo una a continuación de otra sobre una lámina portaobjetos y montadas con una gota de lactoglicerol. Luego, se cubrió las raíces con láminas cubreobjetos, éstas se observaron a un aumento de 10X y 40X. Para el cálculo de la intensidad de la colonización en el sistema radicular se utilizó la siguiente fórmula": $95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1$ / total de raíces montadas.

Donde: n_5 = número de fragmentos clasificados como 5; n_4 = número de fragmentos clasificados como 4; n_3 = número de fragmentos clasificados como 3, n_2 = número de fragmentos clasificados como 2 y n_1 = número de fragmentos clasificados como 1 (figura 7).

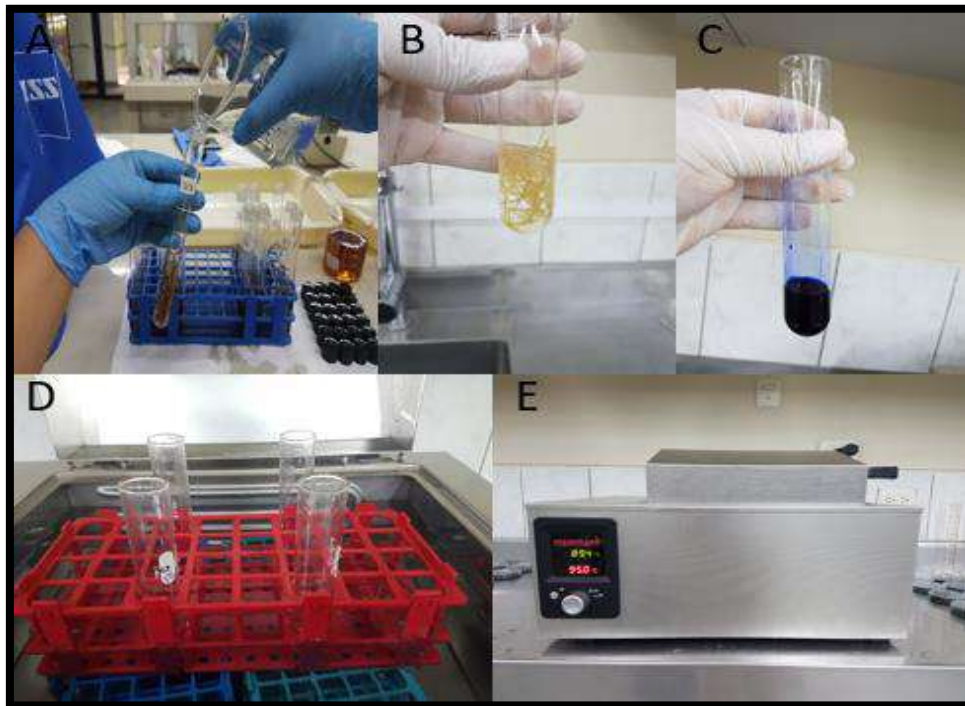


Figura 6

Método de tinción de raíces. A. Preparación en tubos de ensayo; B. Inmersión de raíces en KOH; C: Inmersión de raíces en azul de tripano; D: Tratamiento térmico de las raíces; E: Baño maría

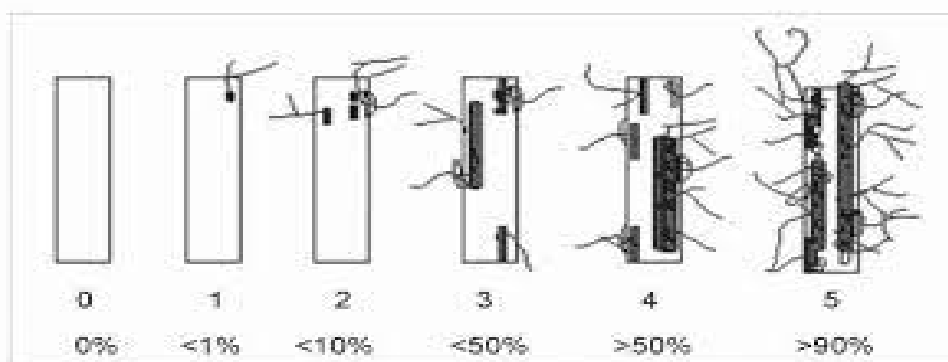


Figura 7

Escala de evaluación del porcentaje de colonización en raíces (Trouvelot et al., 1985)

c. Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza clásico (Anova) y aplicó la prueba de separación de medias de Tukey con una probabilidad de error del 5 %.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efectos sobre las características del desarrollo y el estado fisiológico

4.1.1. Altura de planta

Aunque se pudo ver un patrón de variación consistente de tratamientos del factor A (inoculación) en cada zona (figura 9), los datos originales en conjunto (tabla 23, Anexo) no cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W=0,974$, $p=0,00128$) y homogeneidad de varianzas hacia tratamientos y zonas ($K^2 = 14,377$, g.l. = 3, $p = 0,002434$). La transformación logarítmica solucionó el problema de la heterogeneidad de varianzas.

Efectos generales del factor zona en altura de planta (parcelas)

Destacaron las localidades de Requena y Palmiche con una mayor altura de planta, seguidas por Huayali y Barranquita (Kruskal-Wallis $X^2 = 28,411$, g.l. = 3, $p = 2,978 e^{-6}$). Estos resultados podrían estar influenciados por las condiciones del suelo y eventualmente por un evento de roya amarilla que afectó particularmente a las plantas en la parcela de Barranquita (no obstante presentar esta parcela indicadores óptimos de fertilidad, según tabla 3).

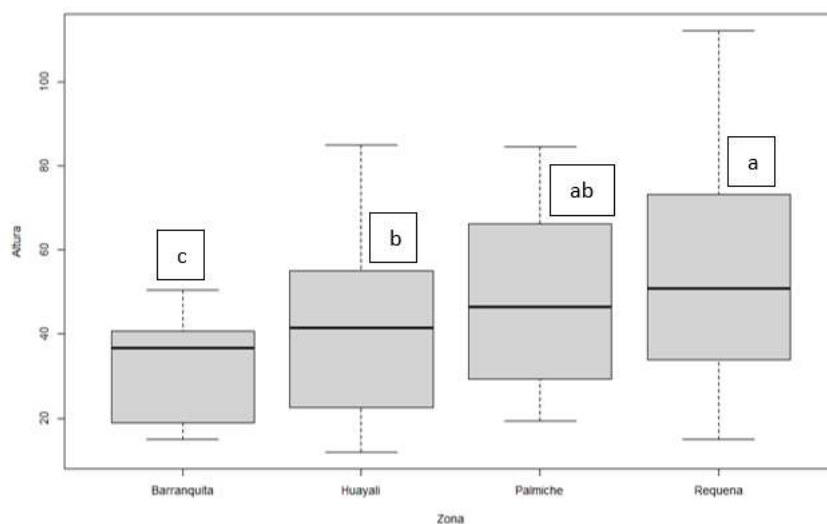


Figura 8

Diagrama de cajas para la altura de planta evaluados en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los índices indican los niveles de significación según la comparación de rangos de Kruskal-Wallis ($X^2 = 28,41082$; g.l. = 3; $t = 2,977834 e^{-6}$ 1.972663; MSD= 20,80846)

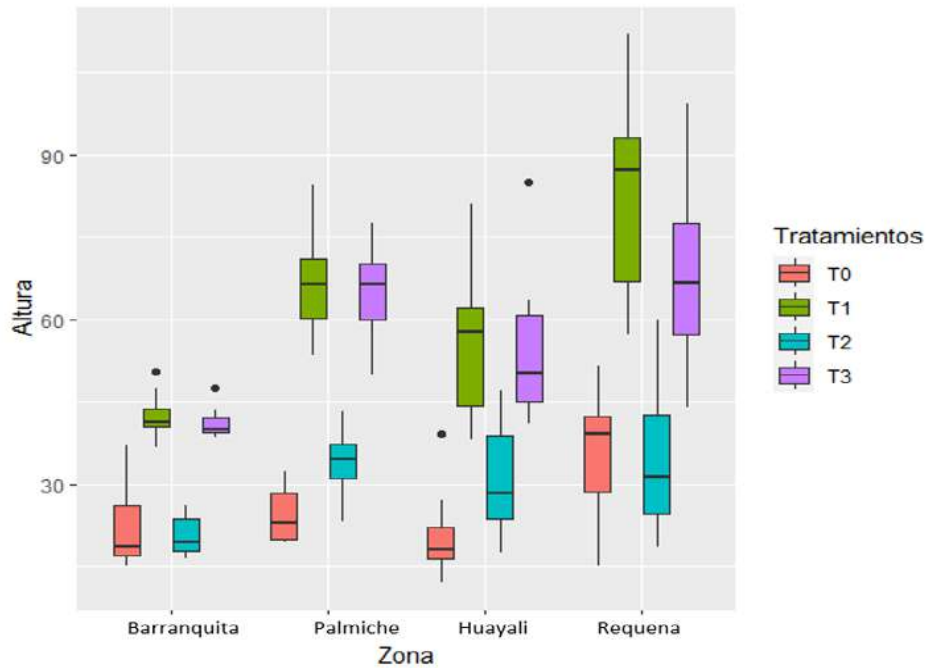


Figura 9

Distribución de los datos originales de altura de planta de café, evaluados por tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos

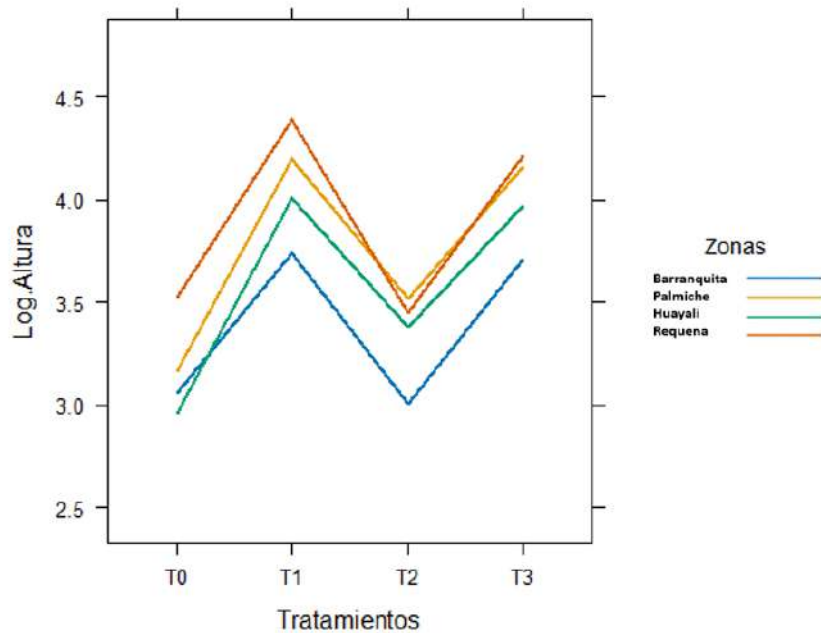


Figura 10

Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable altura de planta en cuatro localidades de San Martín

Efectos del factor inoculación en altura de planta (tratamientos)

La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias altamente significativas en la respuesta de la altura respecto a los tratamientos del factor inoculación ($X^2 = 123,12$, g.l. = 3, $p < 2.2e^{-16}$). *R. variable* (T1 con 61,97 cm [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 57,2 cm [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 29,69 cm [b]) y el testigo (T0 con 25,6 cm [c]).

De lo mostrado en las figuras 9 y 10, *R. variable* (T1) y su asociación con *N. plukenetiae* (T3) tuvieron una mayor respuesta en altura que los otros tratamientos en cada una de las parcelas evaluadas. Debido a que la respuesta para esta variable fue cambiante en cada zona, se presentaron los resultados por separado.

a. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Huayali

La altura de planta mostró una respuesta altamente significativa hacia los tratamientos ($X^2 = 34,707$, g.l. = 3, $p = 1,405e^{-07}$). *R. variable* (T1 con 56,13 cm [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 54,16 cm [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 30,66 cm [b]) y el testigo (T0 con 20,23 cm [c]).

b. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Barranquita

La prueba de Kruskal-Wallis muestra significancia en la respuesta de la altura respecto a los tratamientos ($X^2 = 34,98$, g.l. = 3, $p = 1,23e^{-07}$). *R. variable* (T1 con 42,21 cm [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 41 cm [a]) pero estas fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 20,49 cm [b]) y el testigo (T0 con 22,38 cm [b]).

c. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Requena

Asimismo, se determinó diferencias no significativas en la respuesta de la altura respecto a los tratamientos ($X^2 = 34,20493$, g.l. = 3, $p = 1,793327e^{-07}$). *R. variable* (T1 con 82,38 cm [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 69,15 cm [a]) pero estas fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 33,37 cm [b]) y el testigo (T0 con 35,07 cm [b]).

d. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Palmiche

La prueba de Kruskal-Wallis determino diferencias no significativas en la respuesta de la altura respecto a los tratamientos ($X^2 = 38,58$, g.l. = 3, $p = 2,13e^{-08}$). *R. variable* (T1 con 67,15 cm [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 64,51 cm [a]) pero estas fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 34,25 cm [b]) y el testigo (T0 con 24,09 cm [c]).

La diferencia en las respuestas de la variable altura podría ser explicado por las características dispares de suelos y clima, como es mostrado en la tabla 3. No obstante, se puede afirmar que la variable altura no sólo fue afectada por las mejores condiciones edáficas y el clima en Palmiche y en Requena, así como por la sanidad en Barranquita, ya que los resultados evidenciaron los efectos altamente significativos del tratamiento con micorrizas.

En tal sentido, el aumento de la altura de la planta como consecuencia de la inoculación de HMA podría deberse al incremento de toma de nutrientes (Smith y Read, 2008) y al incremento de la actividad fotosintética que conlleva la generación de nuevos órganos y tejidos (Vaast *et al.*, 1997); particularmente por el uso de *R. variable* en contraste con *N. plukenetiae*. Ello coincidió con las experiencias de Antunes *et al.* (1988), Bhattacharya y Bagyaraj (2002) y Sales *et al.* (2006) con *Gigaspora margarita* y *Ambispora leptoticha*. Estos dos últimos grupos de autores confirmaron que la inoculación de *G. margarita* mostró una mejor respuesta por la alta fijación del fósforo del suelo.

Investigaciones con las especies *Rhizophagus clarus* y *Acaulospora colombiana* mostraron un mejor efecto en la planta cuando se aplica en combinación que por separado mostraron sinergismo entre las especies para el cultivo de café (Sousa *et al.*, 2019), también con el uso de tres especies *Claroideoglossum claroideum*, *Oehlia diaphana* y *Paraglossum albidum* mostraron un mejor efecto al ser utilizadas como inoculo mixto (Trejo-Aguilar, 2018). En este estudio la efectividad de *R. variable* disminuyó al ser asociada con *N. plukenetiae*.

Aunque la compatibilidad entre especies depende de factores bióticos como abióticos (Chaudhary *et al.*, 2014), el presente estudio no llegó a evaluar dicha interacción.

4.1.2 Diámetro de tallo

Los datos originales (tabla 23, Anexo) en conjunto no cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W=0.981$, $p=0.00966$) y homogeneidad de varianzas (g.l. = 15, $f = 2.1596$, $p = 0,009315$), la transformación de datos (función raíz cuadrada) corrigió los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, solamente con respecto a los tratamientos.

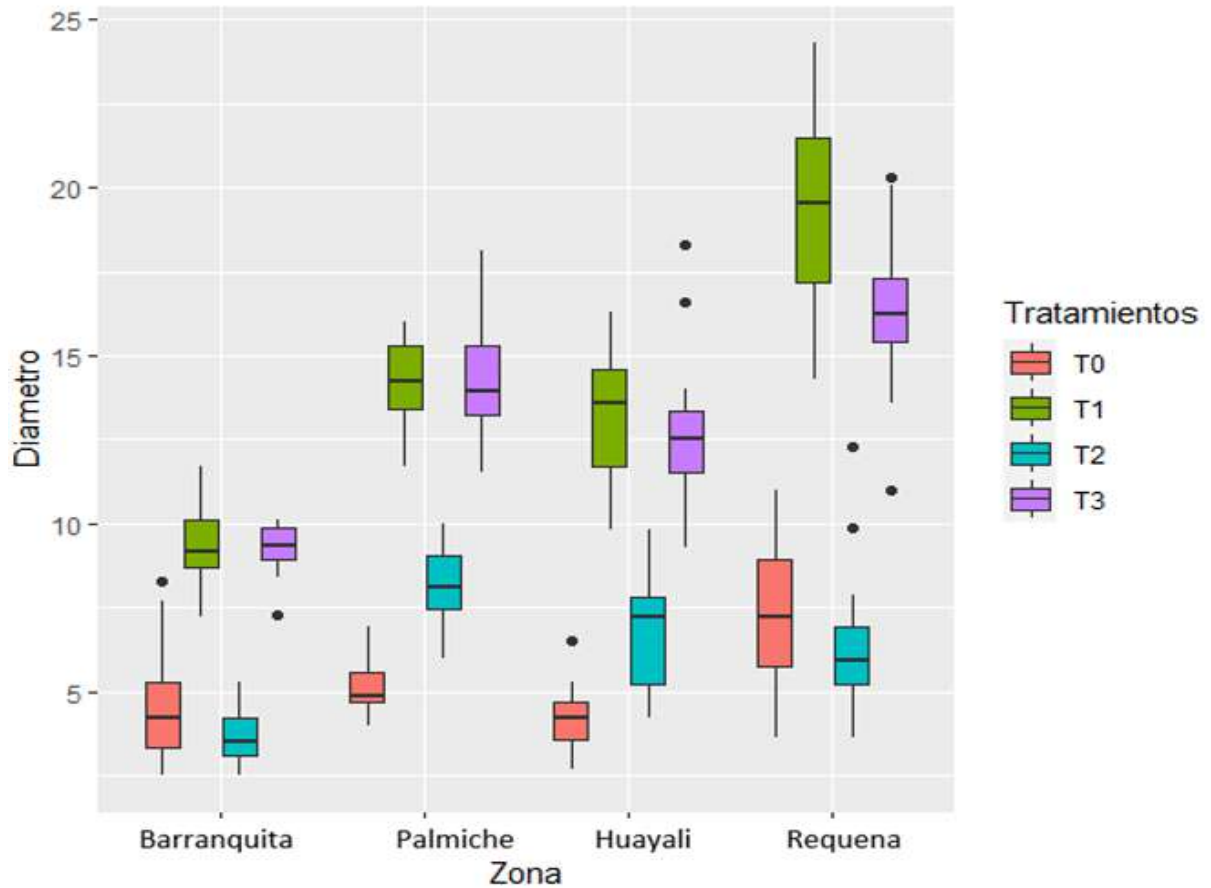


Figura 11

Distribución de los datos originales de diámetro de planta de café, evaluados por tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos

Efectos generales del factor zona en diámetro de planta (parcelas)

A pesar de no ser factible el análisis estadístico entre zonas, el diámetro presentó un patrón muy similar al observado en la figura 8 para la altura de planta.

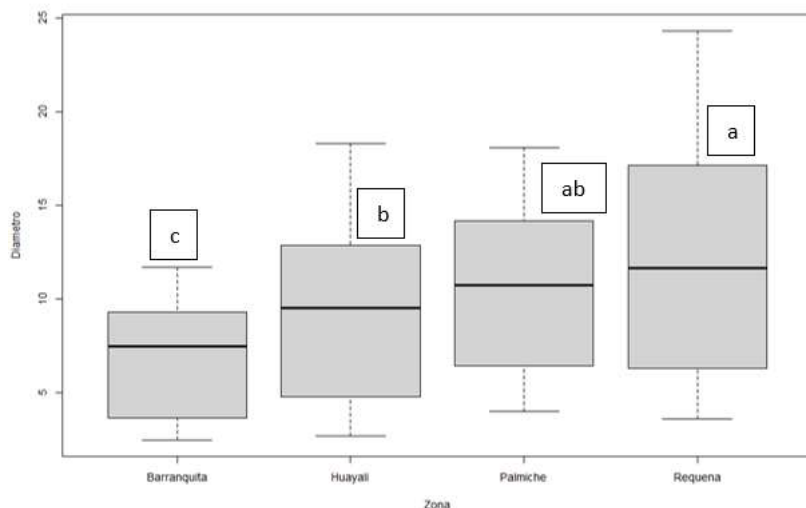


Figura 12

Diagrama de cajas para el diámetro de planta evaluados en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Un análisis estadístico no es adecuado por presentar heterogeneidad de varianzas entre parcelas

Efectos del factor inoculación en diámetro de planta (tratamientos)

Los tratamientos mostraron diferencias significativas para el diámetro del tallo en cada una de las localidades bajo estudio y, aunque no resultó adecuado un análisis factorial de parcelas y tratamientos, el efecto de la interacción puede ser sugerido a partir de lo mostrado en la figura 13.

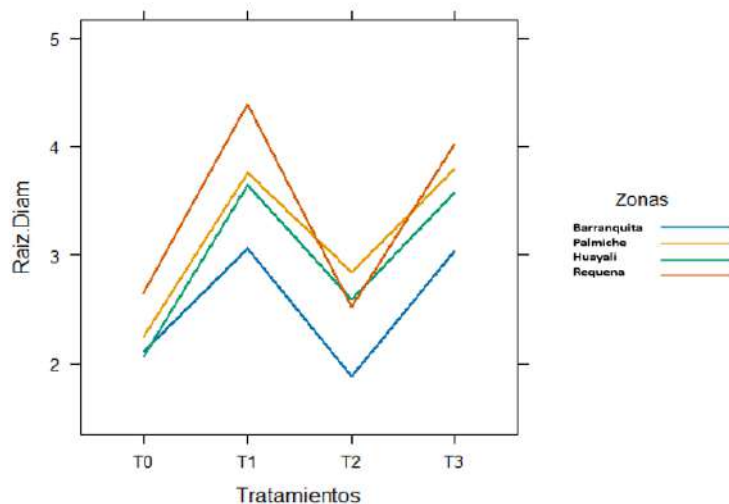


Figura 13

Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable diámetro de plantas de café en cuatro localidades de San Martín

a. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Huayali

El diámetro de tallo respecto a los tratamientos, muestra alta significación con un coeficiente de variabilidad del 10,27 %. *R. variable* (T1 con 13,37 ml [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 12,89 ml [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 6,83 ml [b]) y el testigo (T0 con 4,30 ml [c]).

Tabla 6

Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Huayali

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	21,5481	7,1827	77,255	1,4423e ⁻¹⁷
Residuos	44	4,0908	0,0930		
Total	47	25,6389			

b. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Barranquita

Se determinaron diferencias altamente significativas en la respuesta del diámetro de tallo (CV 10,7 %) respecto *R. variable* (T1 con 9,44 ml [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 9,23 ml [a]), mayores que el testigo (T0 con 4,64 ml [b]) y *N. plukenetiae* (T2 con 3,57 ml [b]).

Tabla 7

Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Barranquita

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	13,6404	4,5468	62,073	7,5147e ⁻¹⁶
Residuos	44	3,2229	0,0732		
Total	47	16,8633			

c. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Requena

El análisis indica diferencias altamente significativas en la respuesta del diámetro de tallo (CV 11,5 %) respecto los tratamientos: *R. variable* (T1 con 19,32 ml [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 16,30 ml [a]) fueron significativamente mayores que el testigo (T0 con 7,17 ml [b]) y *N. plukenetiae* (T2 con 6,55 ml [b]).

Tabla 8
Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Requena

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	32,285	10,762	70,345	7,9895e ⁻¹⁷
Residuos	44	6,731	0,153		
Total	47	39,016			

d. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Palmiche

Se determinaron diferencias altamente significativas en la respuesta del diámetro de tallo (CV 6,5 %), donde *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 14,41 ml [a]) y *R. variable* (T1 con 14,16 ml [a]) registraron los mayores diámetros frente a *N. plukenetiae* (T2 con 8,16 ml [b]) y el testigo (T0 con 5,07 ml [c]).

Tabla 9
Análisis de varianza diámetro de tallo, zona Palmiche

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	20,1831	6,7277	157,62	1,4944e ⁻²³
Residuos	44	1,8781	0,0427		
Total	47	22,0612			

T1 (*R. variable*) y T3 (*R. variable* + *N. plukenetiae*) presentaron la mejor respuesta en las cuatro localidades, en concordancia con lo observado y discutido para la variable altura de planta. Al respecto, Sousa *et al.* (2020), demostraron que la aplicación de *Acaulospora colombiana* y *Rhizophagus clarus* en café redundó en un mayor engrosamiento del tallo comparado con el uso de las especies independientemente y sin inoculo; lo cual también había sido observado en *G. margarita* (Sales *et al.*, 2006) y otros aislados de *Claroideoglossum etunicatum* (Siqueira *et al.*, 1998).

4.1.3 Contenido de clorofila

En el procesamiento de datos originales (tabla 23, Anexo) en conjunto no cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W = 0,968$, $p = 0,000235$), aunque sí con el de homogeneidad de varianzas (g.l. = 15, $F = 1,4796$, $p = 0,117$). La transformación a raíz cuadrada mejoró la probabilidad de homocedasticidad ($F = 1,0844$, $p = 0,3739$).

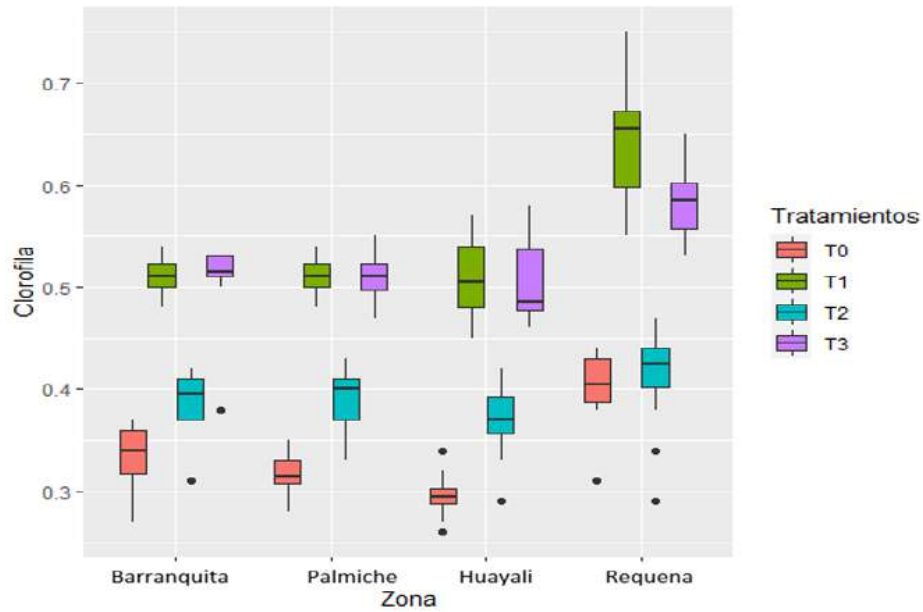


Figura 14

Distribución de los datos originales del contenido de clorofila en plantas de café en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos

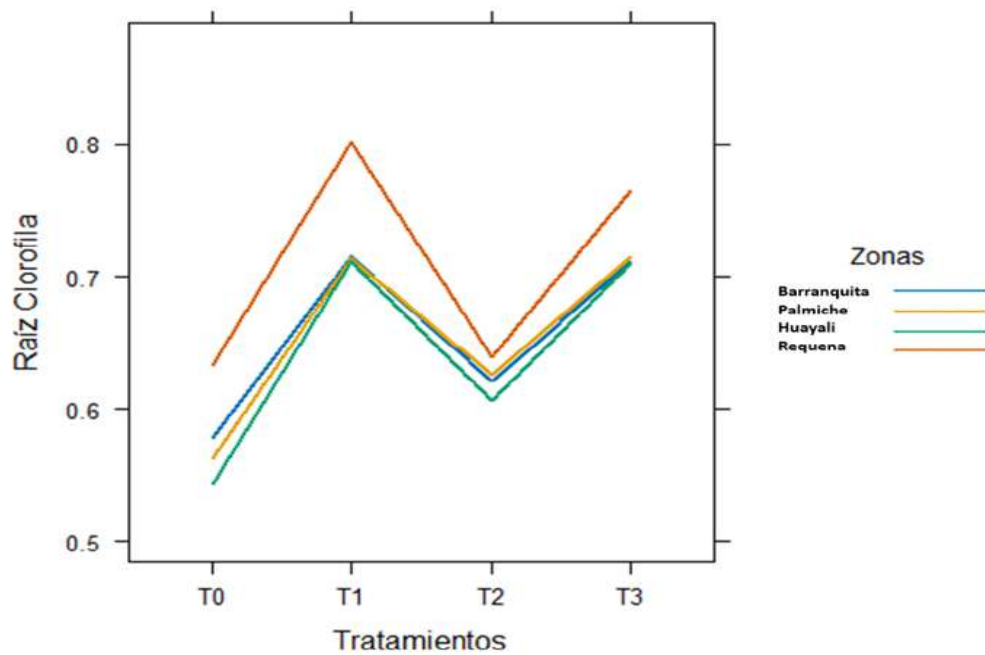


Figura 15

Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable contenido de clorofila (SPAD) en plantas de café en cuatro localidades de San Martín

Efectos del factor zona sobre el contenido de clorofila (parcelas)

La parcela en la localidad de Requena presentó un mayor contenido de clorofila versus el resto ($X^2 = 19,164$, g.l. = 3, $p = 0,0002529$; figura 15): lo cual podría relacionarse con la integración de características edáficas y climáticas en dicha parcela.

Efectos del factor inoculación sobre el contenido de clorofila (tratamientos)

La prueba de Kruskal-Wallis determinó diferencias altamente significativas en la respuesta de contenido de clorofila respecto los tratamientos del factor inoculación ($X^2 = 146,99$, g.l. = 3, $p = < 2,2e^{-16}$). *R. variable* (T1 con 54,26 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 52,66 [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 38,94 [b]) y el testigo (T0 con 44,91 [c]).

a. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Huayali

El análisis mediante la prueba de Kruskal-Wallis muestra diferencias altamente significativas en la respuesta de contenido de clorofila respecto a los tratamientos ($X^2 = 38,829$, g.l. = 3, $p = 1,887e^{-08}$). *R. variable* (T1 con 50,62 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 50,55 [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 36,94 [b]) y el testigo (T0 con 29,65 [c]).

b. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Barranquita

Se determinaron diferencias altamente significativas en la respuesta de contenido de clorofila respecto a los tratamientos ($X^2 = 37,068$, g.l. = 3, $p = 4,451e^{-08}$). *R. variable* (T1 con 51,19 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 50,60 [a]) muestran significancia frente a *N. plukenetiae* (T2 con 38,57 [b]) y el testigo (T0 con 33,49 [c]).

c. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Requena

Se encontraron diferencias altamente significativas en la respuesta de contenido de clorofila respecto a los tratamientos ($X^2 = 37,234$, g.l. = 3, $p = 4,105e^{-08}$). *R. variable* (T1 con 64,15 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 58,52 [b]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 41,08 [c]) y el testigo (T0 con 40,28 [c]).

d. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Palmiche

La prueba de Kruskal-Wallis determinó diferencias significativas en la respuesta de contenido de clorofila respecto a los tratamientos ($X^2 = 39,419$, g.l. = 3, $p = 1,415e^{-08}$). *R. variable* (T1 con 51,08 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 50,99

[a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 39,16 [b]) y el testigo (T0 con 31,64 [c]).

Estos resultados mostraron concordancia con lo observado para las variables precedentes, y con los estudios de Sousa *et al.* (2020) en café para *A. colombiana* y *R. clarus*, tanto como de Sales *et al.* (2006) para *G. margarita*. Sin embargo, este último autor notó que la aplicación de *R. intraradices* + *Claroideiglomus etunitcatum* afectaron la síntesis de clorofila en café (Sales *et al.*, 2006), lo cual pudo ser atribuido a interferencias en el transporte de nutrientes por parte de la cepa del hongo, para activar la ruta metabólica de síntesis de la clorofila (Sharma *et al.*, 2008).

4.1.4. Número de hojas

Los datos originales (tabla 23, Anexo) en conjunto no cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W = 0,841$; $p = 3,14e^{-13}$) y homogeneidad de varianzas ($g.l. = 15$; $f = 7,7745$; $p = 3,219e^{-13}$); pero la transformación de datos a logaritmo ($\log X$) permitió corregirlos sólo para el análisis de los tratamientos (inoculación).

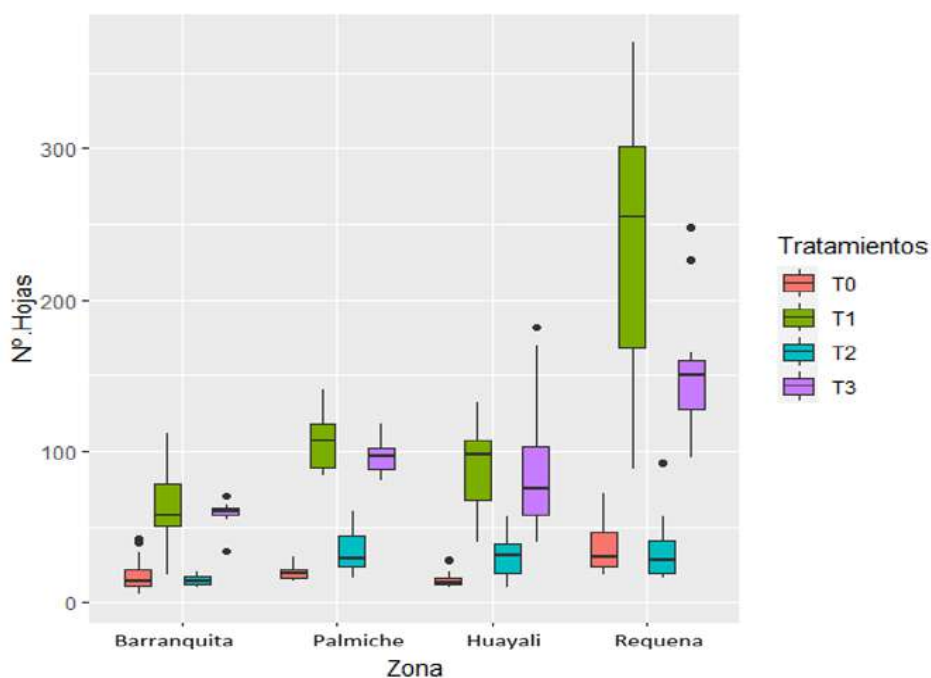


Figura 16

Distribución de los datos del número de hojas de café, evaluados por cada tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos

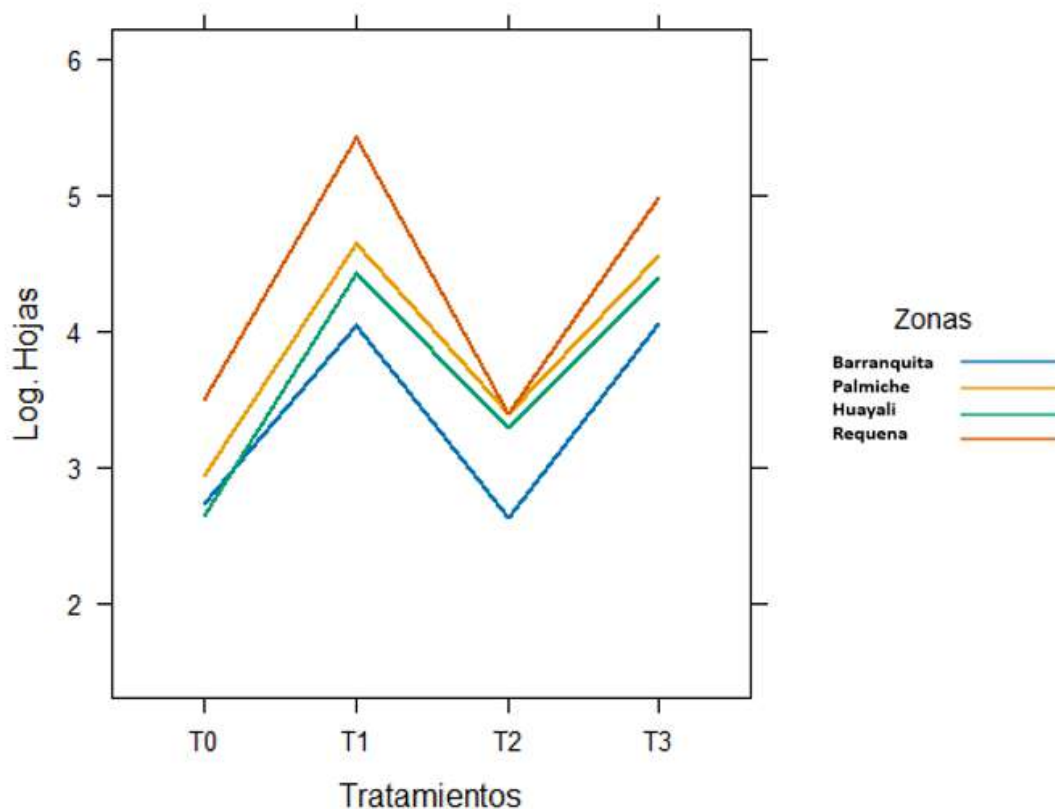


Figura 17

Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable número de hojas en plantas de café, en cuatro localidades de San Martín

a. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Huayali

La respuesta del número de hojas respecto los tratamientos, presentó una alta significancia, con un coeficiente de variabilidad de 11,95 %. *R. variable* (T1 con 88 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 89 [a]) fueron significativamente mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 30 [b]) y el testigo (T0 con 14 [c]).

Tabla 10

Análisis de varianza número de hojas, zona Huayali

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	27,371	9,1235	47,002	8,9694e ⁻¹⁷
Residuos	44	8,541	0,1941		
Total	47	35,911			

b. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Barranquita

Se determinaron diferencias altamente significativas en la respuesta del número de hojas respecto los tratamientos, *R. variable* (T1 con 63 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 58 [a]) fueron significativamente mayores que el testigo (T0 con 18 [b]) y *N. plukenetiae* (T2 con 14 [b]). El coeficiente de variabilidad fue 13 %.

Tabla 11

Análisis de varianza número de hojas, zona Barranquita

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	22,4681	7,4894	39,118	1,7789e ⁻¹²
Residuos	44	8,4241	0,1915		
Total	47	30,8922			

c. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Requena

Se encontraron diferencias altamente significativas en la respuesta del número de hojas respecto los tratamientos (CV 10,3 %), con *R. variable* (T1 con 245 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 151 [a]) mayores que el testigo (T0 con 36 [b]) y *N. plukenetiae* (T2 con 34 [b]).

Tabla 12

Análisis de varianza número de hojas, zona Requena

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	38,464	12,821	64,76	3,538e ⁻¹⁶
Residuos	44	8,711	0,198		
Total	47	47,175			

d. Respuesta de los tratamientos en la parcela de Palmiche

El análisis mostró diferencias altamente significativas en la respuesta del número de hojas por los tratamientos (CV 6,7 %). *R. variable* (T1 con 105 [a]) y la combinación *R. variable* + *N. plukenetiae* (T3 con 95 [a]) fueron mayores que *N. plukenetiae* (T2 con 32 [b]) y el testigo (T0 con 19 [c]).

Tabla 13

Análisis de varianza número de hojas, zona Palmiche

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	26,1872	8,7291	130,71	6,2151e ⁻²²
Residuos	44	2,9384	0,0668		
Total	47	29,1256			

Resultados similares a los de la presente investigación fueron reportados por Osorio et al. (2002), quienes demostraron que el número de hojas fue incrementado al inocular las plantas de café con *A. colombiana*, un consorcio de especies exóticas y otro consorcio de especies nativas. Además, Araújo et al. (2020) y Moreira et al. (2019) mostraron que la inoculación de HMA en café además de afectar positivamente la producción de hojas, incrementó el contenido foliar de fósforo y la biomasa fresca. Los parámetros enfocados a las hojas como el contenido de P puede tener indirectamente un aumento de la tasa fotosintética de planta, debido a la formación de NADPH y ATP que consecuentemente mejoran en la salud física y fisiológica de la planta (Araújo et al., 2020; Epstein y Bloom, 2004).

El efecto de la cepa *N. plukenetiae* en café no es significativo por lo que esta especie no sería candidata para ser usada como inóculo para café. Los inoculantes comunes y producidos a escala comercial están distribuidos en la familia Entrophosporaceae, Glomeraceae, Acaulosporaceae y Gigasporaceae; con las especies *Rhizophagus aggregatus*, *R. iranicus*, *R. irregularis*, *R. clarus*, *Funnelformis mosseae*, *C. etunicatum*, *Septoglomus deserticola*, *Gigaspora margarita*, *G. fasciculata* y *A. colombiana* (Basiru et al., 2020).

Otras especies han demostrado efectividad como inoculantes, como se demostró con *R. irregularis*, *R. fasciculatus*, *F. mosseae*, *R. clarus*, *Paraglomus occultum*, *A. scrobiculata* y *Diversispora spurcum* para cultivos tropicales como papa, banana, pimientos, tomates, entre otros (Rivera y Fernandez, 2020). Aunque la actividad de cada especie es distinta para cada cultivo se demostró que la especie *R. irregularis* y *F. mosseae* son más generalistas lo que refleja una mayor adaptabilidad a diferentes condiciones además una amplia lista de hospederos (Basiru et al., 2020; Dos Passos et al., 2020; Öpik et al., 2010).

Inoculantes micorrízicos comerciales pueden ser aplicados en diferentes momentos en las plantas y para diferentes propósitos (Basiru et al., 2020). En este estudio *R. variable* mostro un efecto positivo para todos los parámetros, por lo que se puede emplear como un inoculante idóneo para el cultivo de café en la región San Martín.

4.2. Diversidad de esporas HMA

a. Abundancia general de esporas HMA

Los datos originales en conjunto (tabla 24, Anexo) cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W= 0,976$; $p= 0,417$) y homogeneidad de varianzas (g.l.= 15; $F= 0,6482$; $p= 0,8126$). Se registraron efectos altamente significativos sólo entre parcelas (tabla 13, CV 22,97 %); donde según Tukey ($\alpha= 5\%$), la cantidad de esporas recuperadas en Huayali

(3,23 [a]), Requena (2,87 [a]) y Barranquita (2,85 [a]) fueron significativamente mayores que en Palmiche (1,83 [b]) (figura 18).

Tabla 14
Análisis de varianza abundancia de esporas

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	1,277	3	1,1098	0,35953
Zonas	3	13,017	5	11,3128	0,00003
Tratamientos*Zonas	9	4,871	4	1,4111	0,22467
Residuos	32	12,273	2		
Total	47	31,438	1		

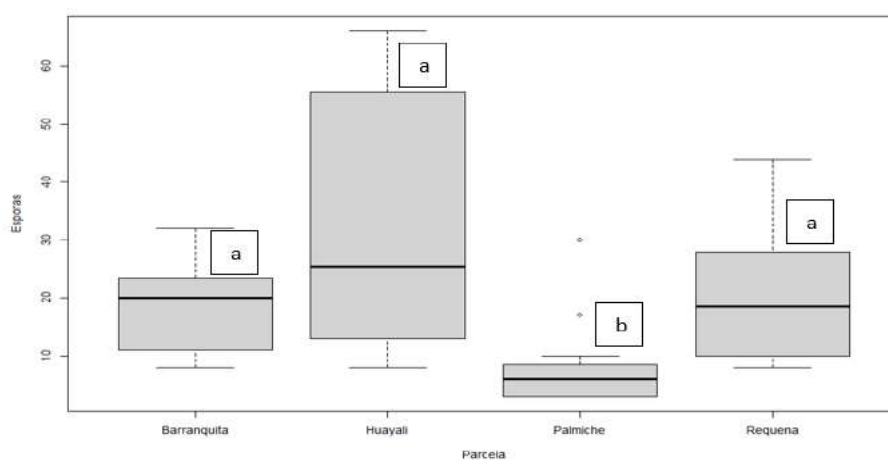


Figura 18

Diagrama de cajas para la abundancia general de esporas recuperadas en muestras de suelo de 50 g en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los índices muestran el nivel de significación según la prueba de separación de medias de Tukey al 5 %

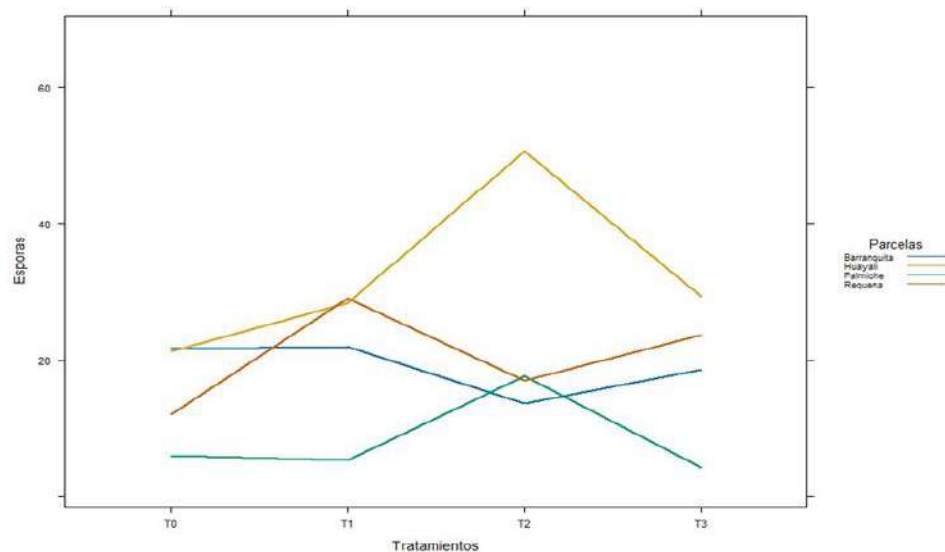


Figura 19

Gráfico de interacción de la abundancia general de esporas entre los tratamientos y localidades de estudio en San Martín

En general, no se observó un patrón ambiental que explique las respuestas del desarrollo y los resultados de esporulación total en las cuatro parcelas evaluadas, aunque según Moreira et al. (2007), la cantidad de esporas suele ser variable para cada ecosistema, donde las características ambientales y suelo moldean la esporulación y cada especie tiene sus propios patrones de esporulación, por lo que tocó analizar la riqueza y la estructura comunitaria en cada parcela para explicar la variable abundancia.

La esporulación también depende de la morfología de las esporas; ya que las especies con desarrollo glomoide tienden a formar más esporas agrupadas en racimos o de menor tamaño comparadas con especies con formación gigasporoide que forman esporas de mayor tamaño pero en menor cantidad (dos Passos *et al.*, 2020). La diversidad asociada al café presentaría una mayor representación de especies pertenecientes a la familia Glomeraceae y Acaulosporaceae (Aguila et al., 2022; Cogo et al., 2020; Lara et al., 2021), seguido por algunas especies de *Gigaspora* y *Scutellospora*.

Asimismo, cabe considerar que, al utilizar 50 g de muestra de suelo sin atender los cambios texturales relacionados con el volumen, pudieron existir distorsiones en las medidas comparadas de abundancia de esporas entre parcelas.

b. Riqueza de morfoespecies HMA

Se identificaron 20 morfoespecies de HMA, en base a la morfología de las esporas (tabla 14). No se pudo establecer la identidad taxonómica de *R. variable* y *N. plukenetiae* en relación con alguna morfoespecie en particular, lo cual constituyó una limitación para el presente estudio.

Tabla 15

Características morfológicas de las morfoespecies de HMA recuperadas en muestras de 50 g de suelo

Morfo-especie	Color	Tamaño	Forma	Morfo-especie	Color	Tamaño	Forma
001	Marrón	grande	circular	011	Amarilla	mediana	circular
002	Marrón	mediana	circular	012	Amarilla	pequeña	circular
003	Marrón	pequeña	circular	013	Amarilla oscura	grande	alargada
004	Marrón oscuro	grande	alargada	014	Amarilla oscura	mediana	circular
005	Marrón oscuro	mediana	circular	015	Amarilla oscura	pequeña	circular
006	Marrón oscuro	pequeña	alargada	016	Amarilla claro	grande	alargada
007	Marrón claro	grande	circular	017	Amarilla claro	mediana	circular
008	Marrón claro	mediana	alargada	018	Amarilla claro	pequeña	circular
009	Marrón claro	pequeña	circular	019	Blanca	medianas	circular
010	Amarilla	grande	circular	020	Blanca	pequeñas	circular

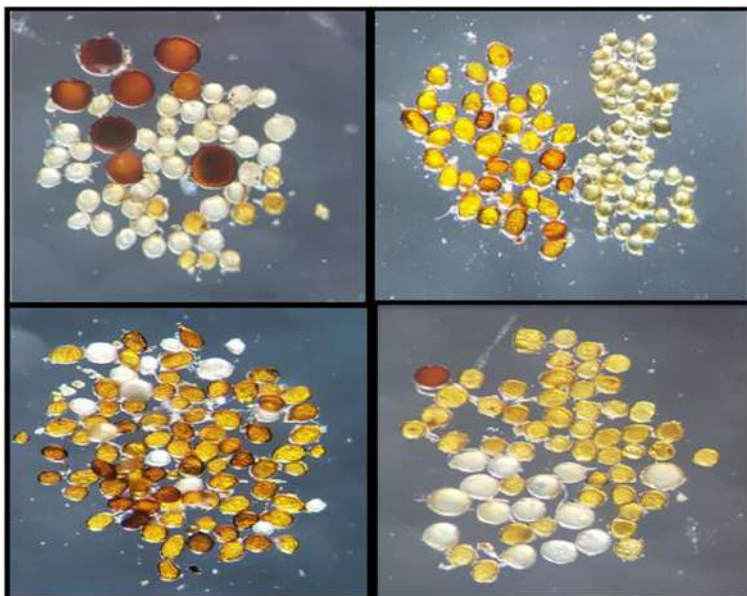


Figura 20

Imágenes de algunas morfoespecies caracterizadas

Los datos de riqueza de morfoespecies cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W=0,958$; $p=0,0822$) y homogeneidad de varianzas (g.l.= 15; $F=0,5915$; $p=0,8596$). Se registraron efectos altamente significativos sólo entre parcelas (tabla 15, CV 36,4 %); donde según Tukey ($\alpha=5\%$), la riqueza de morfoespecies recuperadas en Barranquita (4,67 [a]), Requena (4,67 [a]) y Huayali (4,58 [a]) fueron significativamente mayores que en Palmiche (2,67 [b]).

Tabla 16

Análisis de varianza de la riqueza de especies

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Zona	3	35,062	5	6,3034	0,00175
Tratamiento	3	1,063	2	0,1910	0,90174
Tratamiento*Zona	9	12,521	3	0,7503	0,66115
Residuos	32	59,333	4		
Total	47	107,979	1		

Por los resultados obtenidos, no existe ninguna evidencia de que los tratamientos hayan influido de manera positiva o negativa sobre la riqueza de morfoespecies de HMA, tanto como sí es observado que esta riqueza depende de las condiciones particulares de cada zona donde se instaló el cultivo. No es posible conocer la prevalencia de los inóculos que conformaron los tratamientos bajo estudio.

a. Estructura de la comunidad de esporas HMA

Los datos de estructura H' (tabla 25, Anexo) de morfoespecies cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W= 0,982$; $p= 0,682$) y homogeneidad de varianzas (g.l.= 15; $F= 0,9507$; $p= 0,5235$). Se registraron efectos altamente significativos sólo entre parcelas (tabla 16, CV 37,9 %); donde según Tukey ($\alpha= 5\%$), la riqueza de morfoespecies recuperadas en Barranquita (0,5830 [a]) y Requena (0,5830 [a]) fueron significativamente mayores que en Palmiche (0,3429 [b]), mientras que Huayali presentó valores intermedios (0,4979 [ab]).

De manera similar al caso precedente, no existe ninguna evidencia de que los tratamientos hayan influido de manera positiva o negativa sobre la estructura comunitaria de morfoespecies de HMA, tanto como sí es observado que esta riqueza depende de las condiciones particulares de cada zona donde se instaló el cultivo.

Tabla 17

Análisis de varianza de la riqueza de especies

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Zona	3	0,46089	5	4,9615	0,00612
Tratamiento	3	0,01250	2	0,1346	0,93873
Tratamiento*Zona	9	0,19227	3	0,6899	0,71259
Residuos	32	0,99088	4		
Total	47	1,65654	1		

b. Similitud de las comunidades de esporas HMA entre parcelas

El análisis de disimilitud de Bray-Curtis (figura 21) nos indica que el tratamiento con el inoculo de *N. plukenetiae* está relacionado con una estructura de morfoespecies más distante que la observada con los otros tratamientos, con un coeficiente de 0,49. Esto podría considerarse como un leve indicio de interacción de los tratamientos, pero no existe soporte estadístico suficiente ni una adecuada identificación de la identidad taxonómica de las morfoespecies.

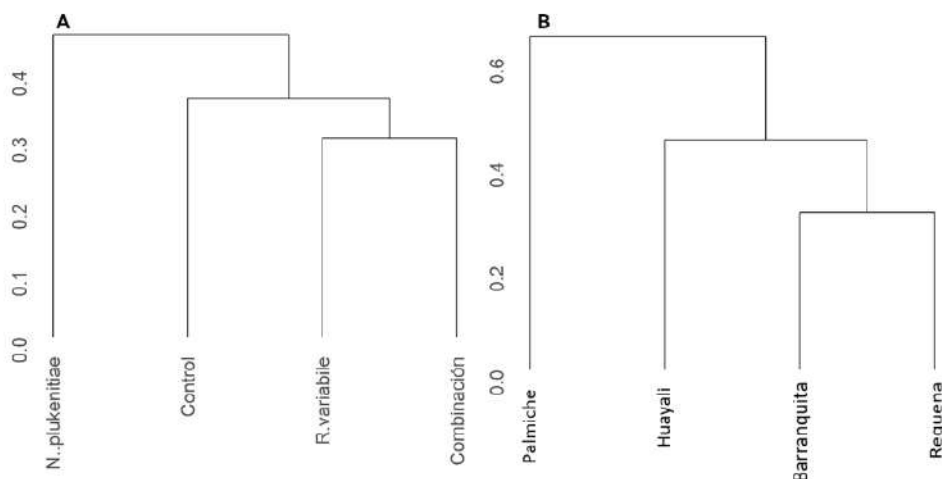


Figura 21

Análisis de similitud de Bray-Curtis usando valores de abundancia de esporas. A) Tratamientos, y B) localidades

Palmiche fue la localidad más disímil respecto el resto, con un coeficiente de 0,74; en concordancia con los resultados de abundancia, riqueza y estructura. No obstante, estos resultados no implicaron una relación con los índices de desarrollo, mostrados en el acápite 4.1.

4.3. Porcentaje de colonización micorrícica

Los datos originales en conjunto (tabla 26, Anexo) cumplieron con los supuestos de Normalidad ($W= 0,976$; $p= 0,432$) y homogeneidad de varianzas ($F= 0,2833$; $p= 0,994$). No se realizó la identificación taxonómica del material micelar contenido en las raíces evaluadas, lo cual constituyó una limitación para la presente investigación.

Se registraron efectos altamente significativos entre parcelas y tratamientos, así como en la interacción de estos factores (tabla 17, CV 5,7 %).

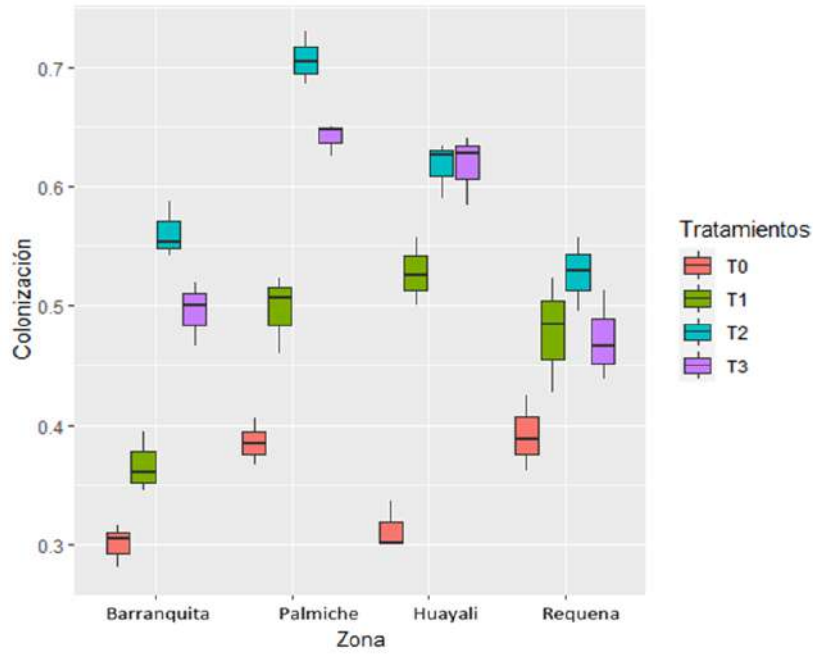


Figura 22

Distribución de porcentajes de colonización micorrícica en plantas de café, evaluados por cada tratamiento en las localidades de Barranquita, Palmiche, Huayali y Requena. Los puntos negros indican valores atípicos

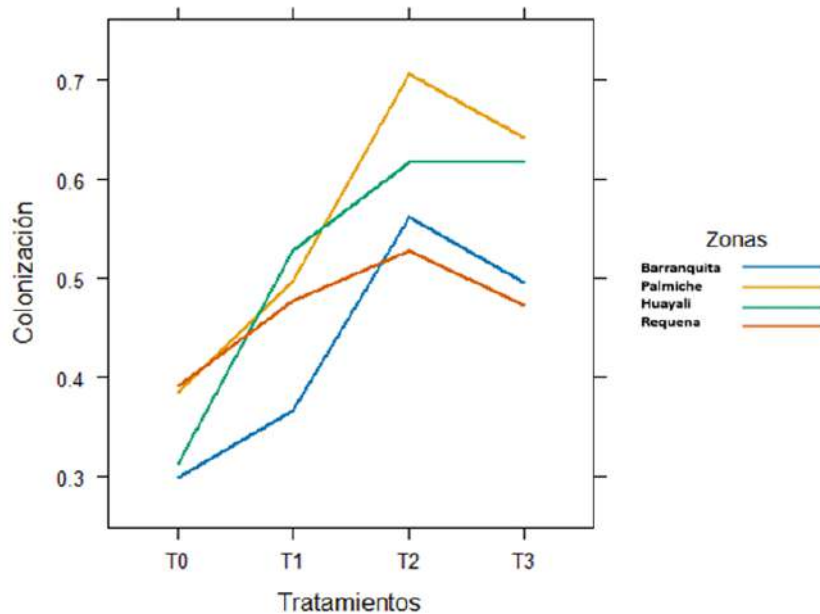


Figura 23

Gráfico de interacción entre los tratamientos y la variable porcentaje de colonización micorrícica en plantas de café en cuatro localidades de San Martín

Tabla 18
Análisis de varianza colonización micorrícica

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	0,45728	5	192,000	0,0000e ⁺⁰⁰
Zonas	3	0,11240	4	47,193	7,0000e ⁻¹²
Tratamientos*Zonas	9	0,07343	3	10,277	3,0653e ⁻⁰⁷
Residuos	32	0,02540	2		
Total	47	0,66852	1		

a. Respuesta de los tratamientos por parcelas

Todos los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas en la respuesta de colonización micorrícica dentro de las parcelas (tabla 18). La inoculación presentó un efecto positivo sobre el porcentaje de colonización HMA (figura 24, tabla 19), lo cual podría sugerir la prevalencia colonizadora de *R. variable* y *N. plukenetiae* en la rizosfera del café; no obstante, ello no puede ser confirmado, en ausencia de una identificación taxonómica del material micelar.

Tabla 19
Análisis de varianza de la respuesta de colonización micorrícica general en los niveles de parcelas

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Zonas	3	0,11240	0,0375	47,1933	0,0000000
Tratamientos: Barranquita	3	0,12780	0,0426	53,6576	0,0000000
Tratamientos: Palmiche	3	0,18816	0,0627	79,0032	0,0000000
Tratamientos: Huayali	3	0,18637	0,0621	78,2529	0,0000000
Tratamientos: Requena	3	0,02838	0,0095	11,9171	0,0000000
Residuos	32	0,02540	0,0008		
Total	47	0,66852			

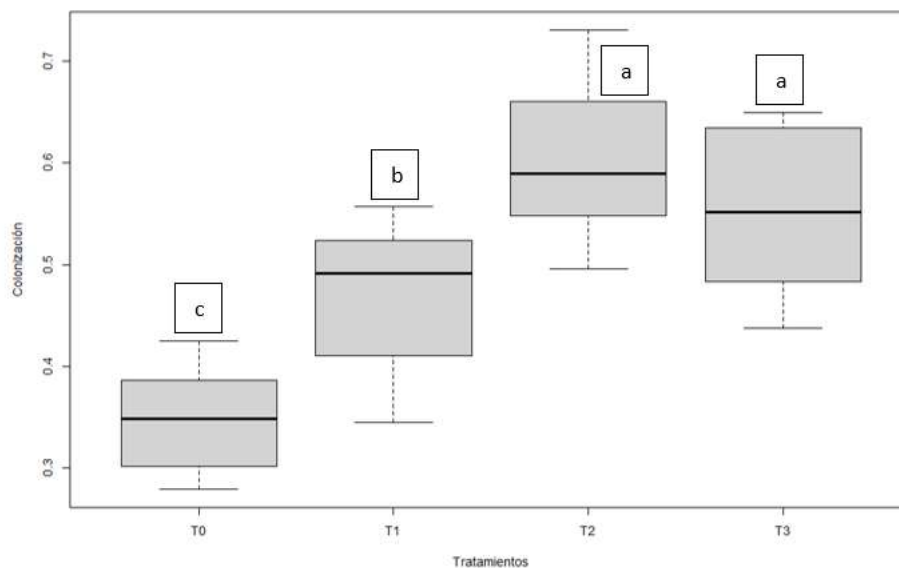


Figura 24

Diagrama de cajas para la colonización general de HMA por tratamiento en cuatro localidades evaluadas

Tabla 20

Resultados de las pruebas de separación de medias de Tukey ($\alpha= 5\%$) para los tratamientos de inoculación en cada una de las zonas bajo estudio

Tratamientos	Porcentaje de colonización por zona			
	Barranquita	Palmiche	Huayali	Requena
Control	29,97 d	38,53 d	31,23 c	39,17 b
T1: <i>R. variable</i>	36,63 c	49,67 c	52,77 b	47,80 a
T2: <i>N. plukenetiae</i>	56,13 a	70,70 a	61,73 a	52,73 a
T3: consorcio T1 + T2	49,57 b	64,13 b	61,73 a	47,20 a

La mayor respuesta de *N. plukenetiae* parecería indicar una mayor agresividad de esta especie, aunque ello no implique un favorecimiento de las variables de desarrollo de la planta de café (Basiru et al., 2020; Basiru y Hijri, 2022), es decir, una relación mutualista.

Sin embargo, tampoco se encontraron evidencias de una relación parasitaria que opere en desmedro de los indicadores del desarrollo, como otros estudios (Koch et al., 2011; Symanczik et al., 2015) han indicado.

b. Respuesta de las parcelas a cada nivel de los tratamientos

Todas las parcelas presentaron respuestas altamente significativas y diferenciadas a los tratamientos de inoculación (tabla 20). La parcela Palmiche presentó una mayor colonización de HMA para todos los tratamientos, en contraste con lo registrado en la parcela de Barranquita (figura 25, tabla 21).

Tabla 21

Análisis de varianza de la colonización micorrícica general en los niveles de tratamientos

Fuente de variación	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Tratamientos	3	0,45728	0,15243	192,0003	0,0000000
Zonas: T0	3	0,02072	0,00691	8,6995	2e-4
Zonas: T1	3	0,04445	0,01482	18,6614	0,0000000
Zonas: T2	3	0,05545	0,01848	23,2811	0,0000000
Zonas: T3	3	0,06521	0,02174	27,3818	0,0000000
Residuos	32	0,02540	0,0008		
Total	47	0,66852			

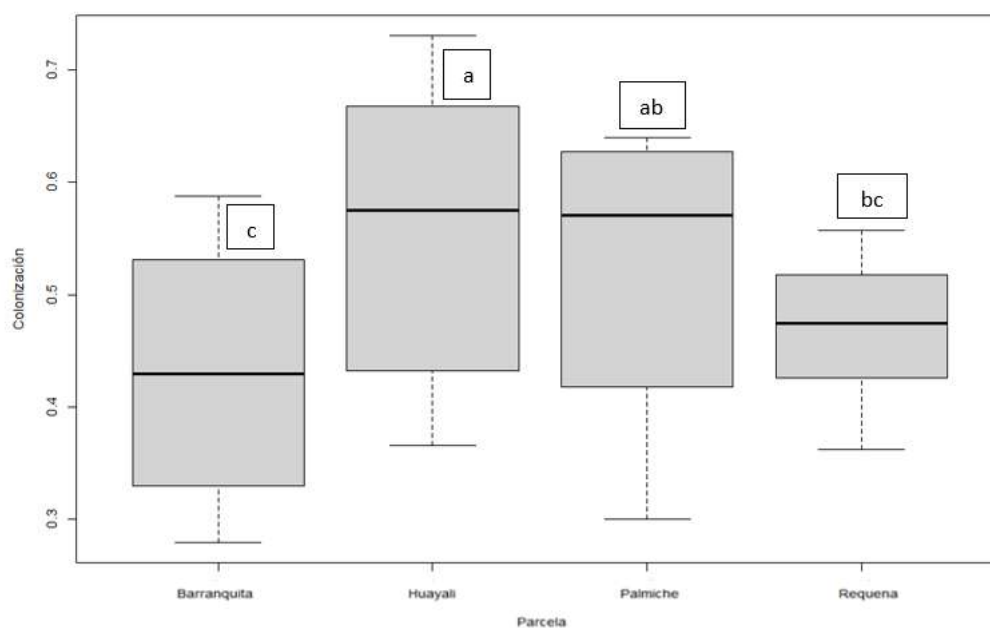
**Figura 25**

Diagrama de cajas para la colonización general de HMA por tratamiento en cuatro localidades evaluadas

Tabla 22

Resultados de las pruebas de separación de medias de Tukey ($\alpha= 5\%$) para los tratamientos de inoculación en cada una de las zonas bajo estudio

Zonas	Porcentaje de colonización por tratamiento			
	Control	T1	T2	T3
Barranquita	29,97 b	36,63 b	56,13 bc	47,20 b
Palmiche	38,53 a	49,67 a	70,70 a	64,13 a
Huayali	31,23 b	52,77 a	61,73 b	61,73 a
Requena	39,17 a	47,80 a	52,73 c	47,20 b

Numerosos estudios indican que la colonización de la raíz por parte del hongo está directamente correlacionada con la respuesta fisiológica de la planta (Costa et al., 2005; Sales et al., 2006).

4.4. Análisis integrado de las variables de desarrollo y diversidad

Únicamente las variables altura y diámetro de planta presentaron una correlación altamente significativa ($r= 0,993^{***}$) Análisis integrado de variables de desarrollo y diversidad. El resto de las variables evaluados no mostraron un patrón que permita establecer correspondencias estadísticamente confiables, aunque se pudo evidenciar la mayor cercanía entre las variables de desarrollo y las de diversidad HMA (figura 26).

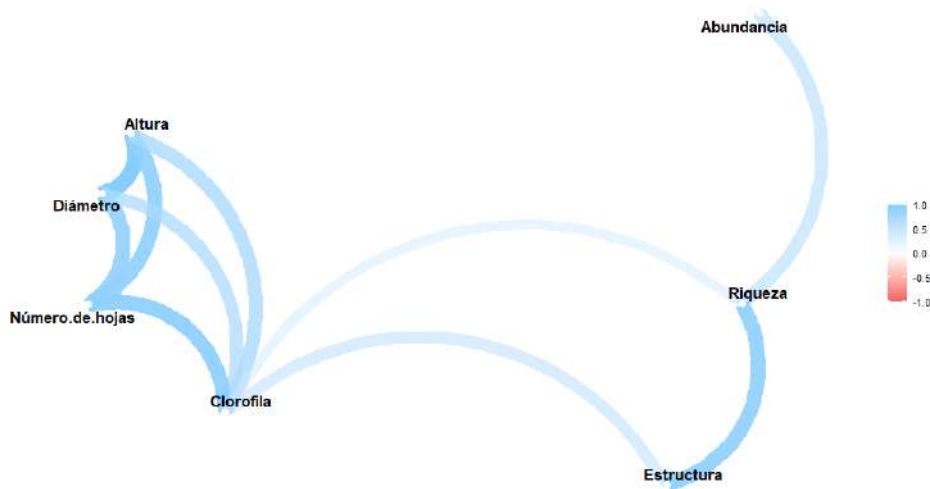


Figura 26

Diagrama de red que representa el grado de relación entre las variables del desarrollo y diversidad de HMA en cuatro localidades evaluadas

Conclusiones

1. La inoculación micorrícica con *Rhizoglyphus variabile* promueve un mayor desarrollo vegetal, evidenciado en altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y contenidos de clorofila en plantas de café, variedad caturra, de 10 meses, en cuatro localidades del departamento de San Martín.
2. La inoculación inicial con *Rhizoglyphus variabile* y *Nanoglyphus plukenetiae* no afecta los índices de diversidad general de HMA (abundancia, riqueza de morfoespecies, estructura de Shannon Wiener y disimilitud de Bray-Curtis) en plantaciones de café, variedad caturra, durante el primer año de instalación en cuatro localidades del departamento de San Martín.
3. Los índices de diversidad general de HMA (abundancia, riqueza de morfoespecies, estructura de Shannon Wiener y disimilitud de Bray-Curtis) en plantaciones de café, variedad caturra, durante el primer año de instalación, son afectados por las condiciones particulares de la ubicación de cuatro localidades del departamento de San Martín.
4. La inoculación inicial con *Rhizoglyphus variabile* y *Nanoglyphus plukenetiae* promueve la colonización micorrícica de HMA en plantas de café, variedad caturra, durante el primer año de instalación.
5. *Nanoglyphus plukenetiae* presenta una capacidad mayor que *Rhizoglyphus variabile* para promover la colonización micorrícica por HMA en plantas de café, variedad caturra, durante el primer año de instalación.

Recomendaciones

1. Se recomienda incorporar la cepa de *Rhizoglyphus variable* en los programas de asistencia técnica, como un insumo que coadyuva al desarrollo del café en el primer año de establecimiento del cultivo.
2. Sigüientes investigaciones deben profundizar en los estudios de identidad taxonómica y respuesta de la estructura comunitaria de HMA (ya sea por morfología o herramientas moleculares), ante la inoculación de *Rhizoglyphus variable* y el binomio clima – suelos en el cultivo de café.
3. Posteriores estudios deberán evaluar la capacidad infectiva de *Nanoglyphus plukenetiae* en la planta de café y su rol sobre la fisiología vegetal y otras poblaciones nativas de HMA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguila, S. R.-D., De la Sota-Ricaldi, A. M., Corazon-Guivin, M. A., & López-García, Á. (2022). Phylogenetic Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities Increases with Crop Age in *Coffea arabica* Plantations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 3291–3303. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00887-9>
- Al-Yahya'ei, M. N., Błaszowski, J., Al-Hashmi, H., Al-Farsi, K., Al-Rashdi, I., Patzelt, A., Boller, T., Wiemken, A., & Symanczik, S. (2021). From isolation to application: a case study of arbuscular mycorrhizal fungi of the Arabian Peninsula. *Symbiosis*, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00824-x>
- Andrade, S. A. L., Mazzafera, P., Schiavinato, M. A., & Silveira, A. P. D. (2009). Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *The Journal of Agricultural Science*, 147(2), 105–115. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008344>
- Antunes, P. M., Koch, A. M., Morton, J. B., Rillig, M. C., & Klironomos, J. N. (2011). Evidence for functional divergence in arbuscular mycorrhizal fungi from contrasting climatic origins. *New Phytologist*, 189(2), 507–514. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03480.x>
- Antunes, V., Silveira, A., & Cardoso, E. (1988). Interacao entre diferentes tipos de solo e fungos micorrízicos vesículo - arbusculares na producao de mudas de café (*Coffea arabica* L.). *Turrialba*, 38(2), 117–122. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10813>
- Araújo, F. H. V., Cruz, R. de S., Porto, D. W. B., Machado, C. M. M., & França, A. C. (2020). Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5058646>
- Arteaga A. E. (2019). *Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de café (Coffea arabica L.), en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba) en la región San Martín*. [Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo] Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/3529>
- Artursson, I., Finlay, R. D., Jansson, J. K., Artursson, V., Finlay, R. D., & Jansson, J. K. (2006). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. *Environmental Microbiology*, 8(1), 1–10.

<https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00942.x>

- Barros, W. T., Barreto-Garcia, P. A. B., Saggin Júnior, O. J., Scoriza, R. N., Silva, M., & DA, S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi community in coffee agroforestry, consortium and monoculture systems. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 94(3), 1–15. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220201228>
- Basiru, S., & Hijri, M. (2022). Does Commercial Inoculation Promote Arbuscular Mycorrhizal Fungi Invasion? *Microorganisms*, 10(2), 404. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020404>
- Basiru, S., Mwanza, H. P., & Hijri, M. (2020). Analysis of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculant Benchmarks. *Microorganisms*, 9(1): 81. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010081>
- Baylis, G. T. S. (1959). Effect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas on Growth of *Griselinia littoralis* (Cornaceae). *New Phytologist*, 58(3), 274–280.
- Barbara, R. L. L., Souza, F. a., & Fonseca, H. M. a. C. (2006). Fungos Micorrízicos arbusculares: muito além da nutrição. *Nutrição Mineral de Plantas*, 53–85.
- Bhattacharya, S., & Bagyaraj, D. J. (2002). Effectiveness of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Isolates on Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.). *Biological Agriculture & Horticulture*, 20(2), 125–131. <https://doi.org/10.1080/01448765.2002.9754956>
- Błaszowski, J., Jobim, K., Niezgodą, P., Meller, E., Malinowski, R., Milczarski, P., Zubek, S., Magurno, F., Casieri, L., Bierza, W., Błaszowski, T., Crossay, T., & Goto, B. T. (2021). New Glomeromycotan Taxa, *Dominikia glomerocarpica* sp. nov. and *Epigeocarpum crypticum* gen. nov. et sp. nov. From Brazil, and *Silvaspora* gen. nov. From New Caledonia. *Frontiers in Microbiology*, 12, 704. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.655910>
- Błaszowski, J., Kozłowska, A., Niezgodą, P., Goto, B. T., & Dalpé, Y. (2018). A new genus, *Oehlia* with *Oehlia diaphana* comb. nov. and an emended description of *Rhizoglossum vesiculiferum* comb. nov. in the Glomeromycotina. *Nova Hedwigia*, 107(3–4), 501–518. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2018/0488
- Błaszowski, J., Kozłowska, A., Niezgodą, P., Goto, T., Dalpé, Y., Symanczik, S., Al-Yahya'ei, M. N., Kozłowska, A., Ryszka, P., Błaszowski, J., & Al-yahya, M. N. (2018). A new family, *Pervetustaceae* with a new genus, *Pervetustus*, and *P. simplex* sp. nov. (Paraglomerales), and a new genus, *Innospora* with *I. majewskii* comb. nov. (Paraglomeraceae) in the Glomeromycotina. *Mycological Progress*, 17(4), 1–14.

<https://doi.org/10.1127/nova>

- Błaszowski, J., Niezgoda, P., de Paiva, J. N., da Silva, K. J. G., Theodoro, R. C., Jobim, K., Orfanoudakis, M., & Goto, B. T. (2019). *Sieverdingia* gen. nov., *S. tortuosa* comb. nov., and *Diversispora peloponnesiaca* sp. nov. in the Diversisporaceae (Glomeromycota). *Mycological Progress*, 18(11), 1363–1382. <https://doi.org/10.1007/S11557-019-01534-X/FIGURES/6>
- Błaszowski, J., Niezgoda, P., Goto, B. T., & Kozłowska, A. (2018). *Halonatospora* gen. nov. with *H. pansihalos* comb. nov. and *Glomus bareae* sp. nov. (Glomeromycota; Glomeraceae). *Botany*, 96(11), 737–748. <https://doi.org/10.1139/cjb-2018-0107>
- Błaszowski, J., Niezgoda, P., Meller, E., Milczarski, P., Zubek, S., Malicka, M., Uszok, S., Casieri, L., Goto, B. T., & Magurno, F. (2021). New taxa in Glomeromycota: *Polonosporaceae* fam. nov., *Polonospora* gen. nov., and *P. polonica* comb. nov. *Mycological Progress* 2021 20:8, 20(8), 941–951. <https://doi.org/10.1007/S11557-021-01726-4>
- Błaszowski, J., Sánchez-García, M., Niezgoda, P., Zubek, S., Fernández, F., Vila, A., Al-Yahya'ei, M. N., Symanczik, S., Milczarski, P., Malinowski, R., Cabello, M., Goto, B. T., Casieri, L., Malicka, M., Bierza, W., & Magurno, F. (2022). A new order, Entrophosporales, and three new *Entrophospora* species in Glomeromycota. *Frontiers in Microbiology*, 13(November), 1–25. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962856>
- Brundrett, M. C., Piché, Y., & Peterson, R. L. (1985). A developmental study of the early stages in vesicular–arbuscular mycorrhiza formation. *Canadian Journal of Botany*, 63(2), 184–194. <https://doi.org/10.1139/b85-021>
- Brundrett, Mark C. (2009). Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis. *Plant and Soil*, 320(1–2), 37–77. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9877-9>
- Brundrett, Mark C., & Tedersoo, L. (2018). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220(4), 1108–1115. <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Camargo, M. B. P. de. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), 239–247. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>

- Carballar-Hernández, S., Hernández-Cuevas, L. V., Montaña, N. M., Larsen, J., Ferrera-Cerrato, R., Taboada-Gaytán, O. R., Montiel-González, A. M., & Alarcón, A. (2017). Native communities of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Capsicum annuum* L. respond to soil properties and agronomic management under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 245(July 2016), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.05.004>
- Carvalho, C. F., Carvalho, S. M., & Souza, B. (2019). Coffee. *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems: Biological Control and Functional Biodiversity*, 277–291. https://doi.org/10.1007/978-3-030-24733-1_23/COVER
- Cavagnaro, T. R., Bender, S. F., Asghari, H. R., & van der Heijden, M. G. A. (2015). The role of arbuscular mycorrhizas in reducing soil nutrient loss. In *Trends in Plant Science* (Vol. 20, Issue 5, pp. 283–290). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.03.004>
- Chaudhary, V. B., Lau, M. K., & Johnson, N. C. (2008). Macroecology of microbes - Biogeography of the glomeromycota. *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics (Third Edition)*, 529–563. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_26/COVER
- Chaudhary, V. Bala, Nolimbal, S., Sosa-Hernández, M. A., Egan, C., & Kastens, J. (2020). Trait-based aerial dispersal of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 228(1), 238–252. <https://doi.org/10.1111/nph.16667>
- Chaudhary, V. Bala, O'Dell, T. E., Rillig, M. C., & Johnson, N. C. (2014). Multiscale patterns of arbuscular mycorrhizal fungal abundance and diversity in semiarid shrublands. *Fungal Ecology*, 12(C), 32–43. <https://doi.org/10.1016/J.FUNECO.2014.06.003>
- Chebaane, A., Symanczik, S., Oehl, F., Azri, R., Gargouri, M., Mäder, P., Mliki, A., & Fki, L. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Phoenix dactylifera* L. grown in Tunisian Sahara oases of different salinity levels. *Symbiosis*, 81(2), 173–186. <https://doi.org/10.1007/s13199-020-00692-x>
- Cogo, F. D., Saggin Júnior, O. J., Guimarães, P. T. G., Siqueira, J. O., & Carneiro, M. A. C. (2020). High rates of agricultural gypsum affect the arbuscular mycorrhiza fungal community and coffee yield. *Bragantia*, 79(4), 612–622. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200014>
- Corazon-Guivin, M. A., Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A.,

- Carballar-Hernández, S., da Silva, G. A., & Oehl, F. (2019a). *Microkamienskia* gen. nov. and *Microkamienskia peruviana*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Western Amazonia. *Nova Hedwigia*, 109(3–4), 355–368. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2019/0551
- Corazon-Guivin, M. A., Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A., Carballar-Hernández, S., da Silva, G. A., & Oehl, F. (2019b). *Nanoglomus plukenetiae*, a new fungus from Peru, and a key to small-spored Glomeraceae species, including three new genera in the “*Dominikia* complex/clades”. *Mycological Progress*, 18(12): 1395–1409. <https://doi.org/10.1007/s11557-019-01522-1>
- Corazon-Guivin, M. A., Mendoza, A. C., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A., Carballar-Hernández, S., Da Silva, G. A., & Oehl, F. (2019c). *Funneliglomus*, gen. nov., and *Funneliglomus sanmartinensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the Amazonia region in Peru. *Sydowia*, 71, 17–24. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0017>
- Corazon-Guivin, M. A., Vallejos-Tapullima, A., Rengifo-Del Aguila, S., Rondinel-Mendoza, N. V., Hernández-Cuevas, L. V., Carvajal-Vallejos, F. M., & Carballar-Hernández, S. (2022). Influence of Substrate Properties on Communities of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolated from Agroecosystems in Peru. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1, 1–14. <https://doi.org/10.1007/S42729-022-00960-3/FIGURES/5>
- Costa, C. M. C., Cavalcante, U. M. T., Goto, B. T., Dos Santos, V. F., & Maia, L. C. (2005). Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada em mudas de mangabeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(3), 225–232. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000300005>
- Crossay, T., Majorel, C., Redecker, D., Gensous, S., Medevielle, V., Durrieu, G., Cavaloc, Y., & Amir, H. (2019). *Is a mixture of arbuscular mycorrhizal fungi better for plant growth than single-species inoculants.* 325–339.
- da Silva, K. J. G., Fernandes, J. A. L., Magurno, F., Leandro, L. B. A., Goto, B. T., & Theodoro, R. C. (2022). Phylogenetic Review of *Acaulospora* (Diversisporales, Glomeromycota) and the Homoplastic Nature of Its Ornamentations. *Journal of Fungi*, 8(9), 892. <https://doi.org/10.3390/jof8090892>
- Dalpé, Y., de Souza, F. A., & Declerck, S. (2005). *Life Cycle of Glomus Species in Monoxenic Culture* (pp. 49–71). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27331-X_4

- DaMatta, F. M., & Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55–81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- Davison, J., Moora, M., Öpik, M., Adholeya, A., Ainsaar, L., Bâ, A., Burla, S., Diedhiou, A. G., Hiiesalu, I., Jairus, T., Johnson, N. C., Kane, A., Koorem, K., Kochar, M., Ndiaye, C., Pärtel, M., Reier, Ü., Saks, Ü., Singh, R., Zobel, M. (2015). Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. *Science*, 349(6251), 970–973. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAB1161>
- de Sousa Cruz, R., Henrique Vieira Araújo, F., Cabral França, A., Tadin Sardinha, L., & Maira Miranda Machado, C. (2020). Physiological responses of *Coffea arabica* cultivars in association with arbuscular mycorrhizal fungi. *Coffee Science*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.25186/cs.v15i.1641>
- Dickson, S. (2004). The Arum–Paris continuum of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 163(1), 187–200. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01095.x>
- dos Passos, J. H., Maia, L. C., de Assis, D. M. A., da Silva, J. A., Oehl, F., & da Silva, I. R. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community Structure in the Rhizosphere of Three Plant Species of Crystalline and Sedimentary Areas in the Brazilian Dry Forest. *Microbial Ecology* 2020 82:1, 82(1), 104–121. <https://doi.org/10.1007/S00248-020-01557-Y>
- Epstein, E., & Bloom, A. J. (2004). *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas* (2 ed). Londrina, Brazil: Editorial Planta. <https://a.co/d/0IYVGTb>
- Fonseca, A. J., Freitas, A. F. de, Carvalho, G. R., Carneiro, M. A. C., Vilela, D. J. M., & Fassio, L. D. O. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungus on the initial growth and nutrition of *Coffea arabica* L. genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, 1–11. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943006919>
- Goto, Bruno T., Silva, G. A., Assis, D. M. A. de, Silva, D. K. A., Souza, R. G., Ferreira, A. C. A., Jobim, K., Mello, C. M. A., Vieira, H. E. E., Maia, L. C., & Oehl, F. (2012). *Intraornatosporaceae* (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. *Mycotaxon*, 119(1), 117–132. <https://doi.org/10.5248/119.117>
- Goto, Bruno Tomio. (2009). *Taxonomia de Glomeromycota: revisão morfológica, chaves dicotômicas e descrição de novos táxons* [Universidade Federal de Pernambuco]. <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/392>
- Goto, Bruno Tomio, & Jobim, K. (2022). *Laboratório de Biologia de Micorrizas*.

Departamento de Botânica e Zoologia - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte (UFRN). <https://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas/home>

Goto, Bruno Tomio, & Maia, L. C. (2006). Glomerospores: A new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon*, 96(December 2017), 129–132.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2022). *Integrated Taxonomic Information System [Online]*. <https://www.itis.gov/>

International Culture collection of (Vesicular) Arbuscular Micorrhizal (Invam), (2017). *Fungi*. <https://invam.wvu.edu>

Janos, D. P., Sahley, C. T., & Emmons, L. H. (1995). Rodent Dispersal of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Amazonian Peru. *Ecology*, 76(6), 1852–1858. <https://doi.org/10.2307/1940717>

Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., & Barea, J. M. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 37(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5>

Jezeer, R. E., Santos, M. J., Boot, R. G. A., Junginger, M., & Verweij, P. A. (2018). Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems*, 162, 179–190. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2018.01.014>

Jobim, K. (2020). *Espécies esporocárpicas de fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota): taxonomia, sistemática e evolução* [Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/29732>

Jobim, K., Błaszowski, J., Niezgodna, P., Kozłowska, A., Zubek, S., Mleczko, P., Chachula, P., Ishikawa, N. K., & Goto, B. T. (2019). New sporocarpic taxa in the phylum Glomeromycota: *Sclerocarpum amazonicum* gen. et sp. nov. in the family Glomeraceae (Glomerales) and *Diversispora sporocarpia* sp. nov. in the Diversisporaceae (Diversisporales). *Progreso Micológico*, 18(3), 369–384. <https://doi.org/10.1007/s11557-018-01462-2>

Julca, O., Echevarría, A., Ladera, M., Borjas, V., Cruz, J., Bello, A., & Crespo, C. (2013). *Una revisión sobre la roya del café (Hemileia vastatrix) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú*. Chanchamayo, Perú: Instituto Regional de Desarrollo de Selva. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477556>

- Kaonongbua, W., Morton, J. B., & Bever, J. D. (2010). Taxonomic revision transferring species in kuklospora to acaulospora (Glomeromycota) and a description of acaulospora colliculosa sp. nov. from field collected spores. *Mycologia*, 102(6), 1497–1509. <https://doi.org/10.3852/10-011>
- Kiriachek, S. G., de Azevedo, L. C. B., Peres, L. E. P., & Lambais, M. R. (2009). Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 33(1), 1–16. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100001>
- Kivlin, S. N., Hawkes, C. V., & Treseder, K. K. (2011). Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(11), 2294–2303. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.012>
- Koch, A. M., Antunes, P. M., Kathryn Barto, E., Cipollini, D., Mummey, D. L., & Klironomos, J. N. (2011). The effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal and garlic mustard introductions on native AM fungal diversity. *Invaciones Biológicas*, 13(7), 1627–1639. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9920-7>
- Lara-Capistran, L., Zulueta-Rodriguez, R., Murillo-Amador, B., Preciado-Rangel, P., Verdecia-Acosta, D. M., & Hernandez-Montiel, L. G. (2021). Biodiversity of AM Fungi in Coffee Cultivated on Eroded Soil. *Agronomy*, 11(3), 567. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030567>
- Leal, P. L., Stürmer, S. L., & Siqueira, J. O. (2009). Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from soils under different land use systems in the Amazon, Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40(1), 111–121. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822009000100019>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010). *Condiciones agroclimáticas del cultivo del Cafeto. Obtenido de Dirección General de la Competitividad Agraria.* http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/condiciones_agroclimaticas_cafe_0.pdf
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Observatorio de Commodities.* https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/2020/04/Reporte_Obs_Commodities_Cafe.pdf
- Moraes, R. M., De Andrade, Z., Bedir, E., Dayan, F. E., Lata, H., Khan, I., & Pereira, A. M. S. (2004). Arbuscular mycorrhiza improves acclimatization and increases lignan content of micropropagated mayapple (*Podophyllum peltatum* L.). *Plant Science*, 166(1): 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.07.003>

- Moreira, M., Nogueira, M. A., Tsai, S. M., Gomes-Da-Costa, S. M., & Cardoso, E. J. B. N. (2007). Sporulation and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Brazil Pine in the field and in the greenhouse. *Mycorrhiza*, 17(6): 519–526. <https://doi.org/10.1007/S00572-007-0124-7/TABLES/4>
- Moreira, S. D., França, A. C., Graziotti, P. H., Leal, F. D. S., & Silva, E. D. B. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus doses on coffee growth under a non-sterile soil. *Revista Caatinga*, 32(1), 72–80. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n108rc>
- Morris, E. K., Morris, D J P, Vogt, S, Gleber, S.-C., Bigalke, M, Wilcke, W, & Rillig, M C. (2019). Visualizing the dynamics of soil aggregation as affected by arbuscular mycorrhizal fungi. *The ISME Journal*, 13, 1639–1646. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0369-0>
- Morton, J. B., & Benny, G. L. (1990). Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi into a new order, Glomales, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae. *Mycotaxon*, 37, 471–491.
- Mosse, B. (1959). The regular germination of resting spores and some observations on the growth requirements of an *Endogone* sp. causing vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Transactions of the British Mycological Society*, 42(3), 273-IN4. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(56\)80033-8](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(56)80033-8)
- Nafady, N. A., Hashem, M., Hassan, E. A., Ahmed, H. A. M., & Alamri, S. A. (2019). The combined effect of arbuscular mycorrhizae and plant-growth-promoting yeast improves sunflower defense against *Macrophomina phaseolina* diseases. *Biological Control*, 138(April), 104049. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104049>
- Nicolson, T. H., & Gerdemann, J. W. (1968). Mycorrhizal *Endogone* Species. *Mycologia*, 60(2): 313. <https://doi.org/10.2307/3757161>
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E., Boller, T., & Wiemken, A. (2005). Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist*, 165(1): 273–283. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01235.x>
- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., & da Silva, G. A. (2011). Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus*, 2(2): 191–199. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.02.10>
- Öpik, M., Vanatoa, A., Vanatoa, E., Moora, M., Davison, J., Kalwij, J. M., Reier, Ü., & Zobel,

- M. (2010). The online database MaarjAM reveals global and ecosystemic distribution patterns in arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *New Phytologist*, 188(1): 223–241. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2010.03334.X>
- Öpik, Maarja, Zobel, M., Cantero, J. J., Davison, J., Facelli, J. M., Hiiesalu, I., Jairus, T., Kalwij, J. M., Koorem, K., Leal, M. E., Liira, J., Metsis, M., Neshataeva, V., Paal, J., Phosri, C., Põlme, S., Reier, Ü., Saks, Ü., Schimann, H., Moora, M. (2013). Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 23(5): 411–430. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0482-2>
- Osorio, N. W., Alzate, J. M., & Ramírez, G. A. (2002). Coffee seedling growth as affected by mycorrhizal inoculation and organic amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(9–10): 1425–1434. <https://doi.org/10.1081/CSS-120004291>
- Perea Rojas, Y. del C., Arias, R. M., Medel Ortiz, R., Trejo Aguilar, D., Heredia, G., & Rodríguez Yon, Y. (2019). Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agroforestry Systems*, 93(3): 961–972. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0190-1>
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1): 158–161. [https://doi.org/10.1016/s0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/s0007-1536(70)80110-3)
- Polo-Marcia, M. H., Lara-Perez, L. A., Goto, B. T., Margarito-Vista, X., & Andrade-Torres, A. (2022). Glomeromycota in Mexico, a country with very high richness. *Sydowia*, 74(June): 33–63. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia74-2021-0033>
- Queiroz, M. B. de, Jobim, K., Vista, X. M., Leroy, J. A. S., Gomes, S. R. B. S., & Goto, B. (2020). Occurrence of Glomeromycota species in aquatic habitats: a global overview. *Mycotaxon*, 135(2): 469–469. <https://doi.org/10.5248/135.469>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria: Foundation for Statistical Computing <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3131254>
- Ramos, A. C., Façanha, A. R., & Feijó, J. A. (2008). Ion dynamics during the polarized growth of arbuscular mycorrhizal fungi: From presymbiosis to symbiosis. *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics (Third Edition)*: 241–260.

https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_12/COVER

- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean Fungi from the Ordovician. *Science*, 289(5486): 1920–1921. <https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1920>
- Rivera, R., & Fernandez, F. (2020). Inoculation and Management of Mycorrhizal Fungi within Tropical Agroecosystems. In *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, 499 – 510. <https://doi.org/10.1201/9781420017113-35>
- Romero Ch. L. E. (2019). *Bioprotección de plantas de café a Hemileia vastatrix, aplicando consorcios de hongos micorrizicos Arbusculares nativos, en vivero, provincia de Lamas*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/3826>
- Rojas, R., Alvarado, L., Borjas, R., Carbonell, E., Castro, V., Julca, A. (2021). Sustainability in Conventional and Organic Coffee Farms (*Coffea arabica* L.) in the Valley of Alto Mayo, San Martin, Peru. *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, 8(23): 1 – 13. <https://doi.org/10.35588/rivar.v8i23.4916>
- Romero C. G. (2019). *Efecto de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en plántulas de Coffea arabica L., variedad caturra en condiciones de vivero en la región San Martín*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3279>
- Ruslan, K., & Prasetyo, OR. (2021). *Plantation Crop Productivity: Coffee, Sugarcane and Cocoa*. Jakarta, Indonesia: Center for Indonesian Policy Studies (CIPS), <https://www.econstor.eu/handle/10419/249422>
- Saboya P. A. (2018). *Evaluación del efecto bioprotector de hongos micorrízicos arbusculares nativos sobre roya (Hemileia vastatrix) en café (Coffea arabica) variedad caturra bajo condiciones de vivero en la Región San Martín*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3272>
- Sales, F., Tristão, M., Sara, Lopez, A., Andrade, D. E., Adriana., Dias, P., & Silveira, D. A. (2006). Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. *Bragantia*, 65(4): 649–658. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052006000400016>
- Schoen, C., Montibeler, M., Costa, M. D., Antunes, P. M., & Stürmer, S. L. (2021). Inter and intra-specific variability in arbuscular mycorrhizal fungi affects hosts and soil health.

Symbiosis, 85(3): 273–289. <https://doi.org/10.1007/s13199-021-00812-1>

- Senés-Guerrero, C., & Schüßler, A. (2016). A conserved arbuscular mycorrhizal fungal core-species community colonizes potato roots in the Andes. *Fungal Diversity*, 77(1): 317–333. <https://doi.org/10.1007/s13225-015-0328-7>
- Senés-Guerrero, C., Torres-Cortés, G., Pfeiffer, S., Rojas, M., & Schüßler, A. (2014). Potato-associated arbuscular mycorrhizal fungal communities in the Peruvian Andes. *Mycorrhiza*, 24(6): 405–417. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0549-0>
- Sharma, D., Kapoor, R., & Bhatnagar, A. K. (2008). Arbuscular mycorrhizal (AM) technology for the conservation of *Curculigo orchioides* Gaertn.: An endangered medicinal herb. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(3): 395–400. <https://doi.org/10.1007/S11274-007-9488-2/TABLES/4>
- Sieverding, E. (1991). *Vesicular–arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). <https://a.co/d/chTQRQs>
- Sieverding, E., Da Silva, G. A., Berndt, R., & Oehl, F. (2014). *Rhizoglomus*, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*, 129(2): 373–386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Silva, A. R., Melo, N. F. De, & Yano-melo, A. M. (2017). South African Journal of Botany Acclimatization of micropropagated plants of *Etilingera elatior* (Jack) R. M. Sm. inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *South African Journal of Botany*, 113: 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.08.014>
- Simon, L., Bousquet, J., Lévesque, R. C., & Lalonde, M. (1993). Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/363067a0>
- Siqueira, J. O., Sylvia, D. M., Gibson, J., & Hubbell, D. H. (1985). Spores, germination, and germ tubes of vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Microbiology*, 31(11): 965–972. https://doi.org/10.1139/M85-183/ASSET/M85-183.FP.PNG_V03
- Siqueira, José O., Saggin-Júnior, O. J., Flores-Aylas, W. W., & Guimarães, P. T. G. (1998). Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza*, 7(6): 293–300. <https://doi.org/10.1007/s005720050195>
- Smith, S., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>

- Song, J., Liang, J.-F., Mehrabi-Koushki, M., Krisai-Greilhuber, I., Ali, B., Bhatt, V. K., Cerna-Mendoza, A., Chen, B., Chen, Z.-X., Chu, H.-L., Corazon-Guivin, M. A., da Silva, G. A., De Kesel, A., Dima, B., Dovana, F., Farokhinejad, R., Ferisin, G., Guerrero-Abad, J. C., Guo, T., Haelewaters, D. (2019). *Fungal Systematics and Evolution: FUSE 5. Sydowia*, 71: 141–245. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0141>
- Sousa Cruz, R., Henrique, F., Araújo, V., Cabral França, A., & Graziotti, P. H. (2019). Crescimento pós-plantio de cultivares de *Coffea arabica* inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. *Revista Craibeiras de Agroecologia*, 4(1): e8059–e8059. <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/8059>
- Souza, T. (2015). *Handbook of Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. Paraíba, Brazil: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24850-9>
- Strullu-Derrien, C., Selosse, M., Kenrick, P., & Martin, F. M. (2018). The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. *New Phytologist*, 220(4): 1012–1030. <https://doi.org/10.1111/nph.15076>
- Stürmer, Sidney L., Bever, J. D., & Morton, J. B. (2018). Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. *Mycorrhiza*, 28(7): 587–603. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0864-6>
- Stürmer, Sidney L., Oliveira, L. Z., & Morton, J. B. (2018). Gigasporaceae versus Glomeraceae (phylum Glomeromycota): A biogeographic tale of dominance in maritime sand dunes. *Fungal Ecology*, 32: 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2017.11.008>
- Stürmer, Sidney Luiz, & Kimmelmeier, K. (2021). The Glomeromycota in the Neotropics. *Frontiers in Microbiology*, 11(January): 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.553679>
- Svenningsen, N. B., Watts-Williams, S. J., Joner, E. J., Battini, F., Efthymiou, A., Cruz-Paredes, C., Nybroe, O., & Jakobsen, I. (2018). Suppression of the activity of arbuscular mycorrhizal fungi by the soil microbiota. *The ISME Journal*, 12(5): 1296–1307. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0059-3>
- Symanczik, S., Al-Yahya'ei, M. N., Kozłowska, A., Ryszka, P., & Błaszowski, J. (2018). A new genus, *Desertispora*, and a new species, *Diversispora sabulosa*, in the family Diversisporaceae (order Diversisporales, subphylum Glomeromycotina). *Mycological*

Progress, 17(4): 437–449. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1369-y>

- Symanczik, S., Courty, P. E., Boller, T., Wiemken, A., & Al-Yahya'ei, M. N. (2015). Impact of water regimes on an experimental community of four desert arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) species, as affected by the introduction of a non-native AMF species. *Mycorrhiza*, 25(8): 639–647. <https://doi.org/10.1007/s00572-015-0638-3>
- Teixeira, H. M., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Tiltonell, P., & Peña-Claros, M. (2021). Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic Forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 305. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107171>
- Trejo-Aguilar, D. (2018). Hongos micorrícicos arbusculares en el crecimiento de café (*Coffea arabica* L.) variedades garnica, catimor, caturra y catuaí. *Agro Productividad*, 11(4). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/352>
- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcón, A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrícicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(1): 23–31. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>
- Trouvelot, A., Kough, J. L., & Gianinazzi-Pearson, V. (1985). Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae: Proceedings of the 1st European Symposium on Mycorrhizae*, 217–221. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8758731>
- Vaast, P., Zasoski, R. J., & Bledsoe, C. S. (1997). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants. *Mycorrhiza*, 6(6): 493–497. <https://doi.org/10.1007/s005720050153>
- Vallejos T. G. (2021). *Efectos de la inoculación de micorrizas arbusculares sobre la tolerancia a roya en clones de café (Coffea arabica L.) Var. caturra y pache en Moyobamba*. [Tesis Para optar el grado académico de Doctor en Producción Vegetal y Ecosistemas agroforestales]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/4046>
- Vallejos-Torres, G., Espinoza, E., Marín-Díaz, J., Solis, R., & Arévalo, L. A. (2021). The

- Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Against Root-Knot Nematode Infections in Coffee Plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1): 364–373. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00366-z>
- Vályi, K., Mardhiah, U., Rillig, M. C., & Hempel, S. (2016). Community assembly and coexistence in communities of arbuscular mycorrhizal fungi. *The ISME Journal*, 10(10): 2341–2351. <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.46>
- van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present and the future. *New Phytologist*, 205(4): 1406–1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
- Voets, L., De Boulois, H. D., Renard, L., Strullu, D. G., & Declerck, S. (2005). Development of an autotrophic culture system for the in vitro mycorrhization of potato plantlets. *FEMS Microbiology Letters*, 248(1): 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.05.025>
- Voets, L., De La Providencia, I. E., & Declerck, S. (2006). Glomeraceae and Gigasporaceae differ in their ability to form hyphal networks. *New Phytologist*, 172(2): 185–188. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2006.01873.X>
- Wang, B., & Qiu, Y.-L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16(5): 299–363. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0033-6>
- Wijayawardene, N., Hyde, K., Dai, D., Sánchez-García, M., Goto, B., Saxena, R., Erdoğdu, M., Selçuk, F., Rajeshkumar, K., Aptroot, A., Błaszczowski, J., Boonyuen, N., da Silva, G., de Souza, F., Dong, W., Ertz, D., Haelewaters, D., Jones, E., Karunarathna, S., Thines, M. (2022). Outline of Fungi and fungus-like taxa – 2021. *Mycosphere*, 13(1): 53–453. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/13/1/2>
- Willson, K. C. (1985). Climate and Soil. In *Coffee* (pp. 97–107). Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_4
- Yadav, K., Aggarwal, A., & Singh, N. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) induced acclimatization, growth enhancement and colchicine content of micropropagated *Gloriosa superba* L. plantlets. *Industrial Crops & Products*, 45: 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.001>
- Zhang, J., Wang, F., Che, R., Wang, P., Liu, H., Ji, B., & Cui, X. (2016). Precipitation shapes communities of arbuscular mycorrhizal fungi in Tibetan alpine steppe. *Scientific Reports*, 6(1): 23488. <https://doi.org/10.1038/srep23488>

- Zhao, H., Li, X., Zhang, Z., Zhao, Y., Yang, J., & Zhu, Y. (2017). Species diversity and drivers of arbuscular mycorrhizal fungal communities in a semi-arid mountain in China. *PeerJ*, 2017(12): e4155. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.4155/SUPP-16>
- Zsögön, A., Lambais, M. R., Benedito, V. A., Figueira, A. V. D. O., & Peres, L. E. P. (2008). Reduced arbuscular mycorrhizal colonization in tomato ethylene mutants. *Scientia Agricola*, 65(3): 259–267. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000300006>

ANEXOS

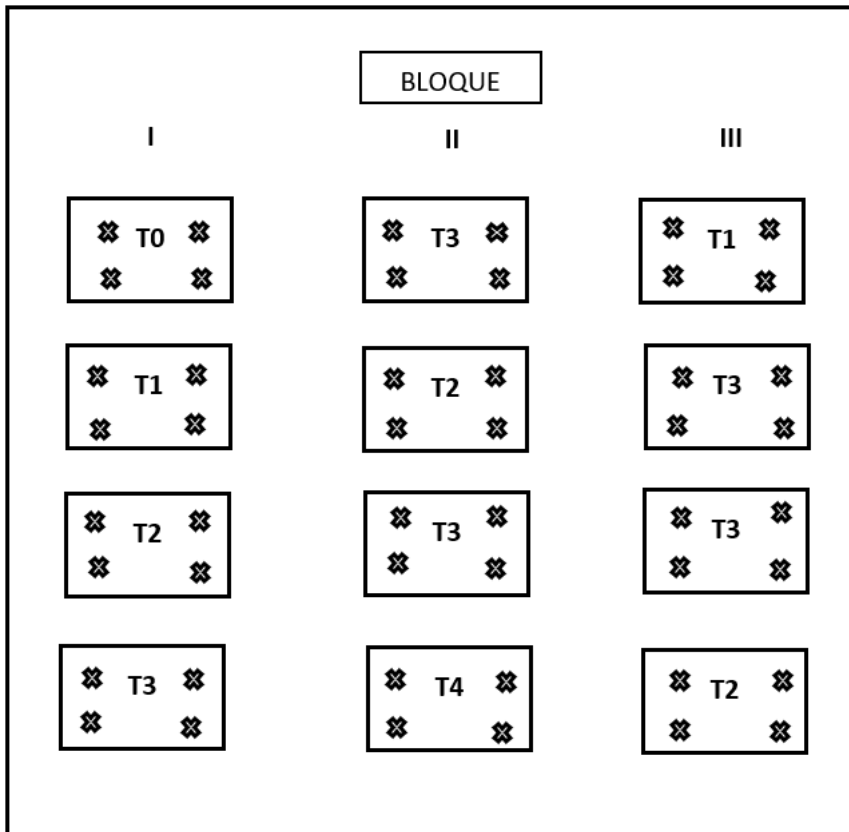


Figura 27. Croquis de parcelas en estudio

LEYENDA:

- T0: Testigo.
- T1: *Rhizoglopus variabile*.
- T2: *Nanoglopus plukenetiae*.
- T3: *Rhizoglopus variabile* y *Nanoglopus plukenetiae*.
- ☒ : Plantas micorrizadas en evaluación.

Tabla 22

Análisis de diversidad de especies en cada tratamiento para cada localidad: riqueza de especies (S) e índice de Shannon – Wiener (H')

Tratamientos	Barranquita		Palmiche		Huayali		Requena	
	S	H'	S	H'	S	H'	S	H'
Control	4,67 ± 2,08 a	1,33 ± 0,53 a	2,00 ± 1,00 a	0,47 ± 0,45 a	5,33 ± 2,08 a	1,31 ± 0,61 a	4,67 ± 2,08 a	1,33 ± 0,53 a
R. variable	5,33 ± 1,53 a	1,45 ± 0,30 a	2,67 ± 0,58 a	0,82 ± 0,16 a	4,00 ± 1,00 a	1,10 ± 0,54 a	5,33 ± 1,53 a	1,45 ± 0,30 a
N. plukenetiae	4,33 ± 1,15 a	1,33 ± 0,27 a	2,67 ± 2,08 a	0,69 ± 0,71 a	5,33 ± 1,15 a	1,17 ± 0,52 a	4,33 ± 1,15 a	1,33 ± 0,27 a
R. variable + N plukenetiae	4,33 ± 0,58 a	1,25 ± 0,14 a	3,33 ± 0,58 a	1,18 ± 0,15 a	3,67 ± 0,58 a	1,00 ± 0,08 a	4,33 ± 0,58 a	1,25 ± 0,14 a

Nota: valores de las medias seguidas por las letras minúsculas indica diferencia significativa entre los tratamientos con la prueba de Tukey ($\alpha=5\%$).

Tabla 23-1. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Huayali	1	T0	1	16,8	4,2	0,26	11
Barranquita	1	T0	2	34,0	7,7	0,36	42
Requena	1	T0	3	37,4	9,1	0,43	32
Palmiche	1	T0	4	19,8	4,2	0,28	22
Huayali	1	T0	5	21,5	4,9	0,30	12
Barranquita	1	T0	6	18,0	4,0	0,34	33
Requena	1	T0	7	29,4	6,8	0,31	27
Palmiche	1	T0	8	20,0	4,0	0,31	22
Huayali	1	T0	9	16,8	4,2	0,27	11
Barranquita	1	T0	10	29,0	5,8	0,37	16
Requena	1	T0	11	24,5	5,9	0,38	26

Tabla 23-2. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Palmiche	1	T0	12	19,3	5,8	0,29	18
Huayali	1	T0	13	12,0	3,5	0,29	10
Barranquita	1	T0	14	37,0	8,3	0,37	40
Requena	1	T0	15	26,4	5,3	0,39	24
Palmiche	1	T0	16	19,7	4,6	0,30	21
Huayali	1	T1	17	44,3	11,1	0,48	40
Barranquita	1	T1	18	47,5	11,7	0,52	102
Requena	1	T1	19	105,0	19,0	0,70	362
Palmiche	1	T1	20	53,4	11,7	0,48	90
Huayali	1	T1	21	38,0	13,5	0,48	48
Barranquita	1	T1	22	40,2	8,3	0,51	48
Requena	1	T1	23	68,1	21,5	0,67	254
Palmiche	1	T1	24	61,2	12,3	0,54	96
Huayali	1	T1	25	42,5	13,6	0,48	70

Tabla 23-3. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Barranquita	1	T1	26	41,0	9,2	0,51	52
Requena	1	T1	27	88,6	21,5	0,68	296
Palmiche	1	T1	28	84,0	15,2	0,53	140
Huayali	1	T1	29	44,0	11,7	0,45	72
Barranquita	1	T1	30	50,5	10,1	0,54	70
Requena	1	T1	31	63,0	15,2	0,59	256
Palmiche	1	T1	32	63,5	13,1	0,50	88
Huayali	1	T2	33	17,5	4,6	0,37	10
Barranquita	1	T2	34	18,0	3,3	0,37	12
Requena	1	T2	35	30,0	5,8	0,44	30
Palmiche	1	T2	36	28,7	8,3	0,37	30
Huayali	1	T2	37	34,0	7,5	0,39	36
Barranquita	1	T2	38	22,0	3,7	0,37	18
Requena	1	T2	39	35,0	6,6	0,34	35
Palmiche	1	T2	40	30,1	7,7	0,37	20
Huayali	1	T2	41	21,4	4,2	0,35	14
Barranquita	1	T2	42	19,0	3,2	0,37	14
Requena	1	T2	43	32,7	6,0	0,42	26
Palmiche	1	T2	44	41,0	7,0	0,41	32
Huayali	1	T2	45	24,3	5,4	0,29	20
Barranquita	1	T2	46	17,0	2,5	0,40	15
Requena	1	T2	47	42,3	7,9	0,44	48
Palmiche	1	T2	48	33,3	7,6	0,33	27
Huayali	1	T3	49	46,0	11,6	0,47	56
Barranquita	1	T3	50	41,7	10,1	0,50	62
Requena	1	T3	51	58,0	13,6	0,58	96
Palmiche	1	T3	52	70,2	18,1	0,51	106
Huayali	1	T3	53	52,0	12,7	0,48	74
Barranquita	1	T3	54	39,5	7,3	0,51	34
Requena	1	T3	55	93,4	20,3	0,63	226
Palmiche	1	T3	56	62,0	15,3	0,51	118

Tabla 23-4. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Huayali	1	T3	57	41,0	12,6	0,49	112
Barranquita	1	T3	58	38,8	9,3	0,51	62
Requena	1	T3	59	77,2	16,9	0,59	165
Palmiche	1	T3	60	61,0	15,3	0,49	106
Huayali	1	T3	61	60,2	13,1	0,49	92
Barranquita	1	T3	62	39,5	9,3	0,51	58
Requena	1	T3	63	99,5	20,1	0,65	248

Palmiche	1	T3	64	50,5	13,3	0,47	98
Huayali	2	T0	65	20,0	4,2	0,28	14
Barranquita	2	T0	66	19,0	4,4	0,32	12
Requena	2	T0	67	45,6	8,9	0,42	40
Palmiche	2	T0	68	21,6	6,0	0,33	16
Huayali	2	T0	69	26,8	5,3	0,30	14
Barranquita	2	T0	70	17,6	3,6	0,34	11
Requena	2	T0	71	42,0	7,6	0,44	48
Palmiche	2	T0	72	30,0	6,9	0,35	30
Huayali	2	T0	73	15,6	2,7	0,29	12
Barranquita	2	T0	74	17,2	3,5	0,27	10
Requena	2	T0	75	41,0	8,5	0,43	46
Palmiche	2	T0	76	24,1	5,5	0,32	20
Huayali	2	T0	77	19,3	4,6	0,30	12
Barranquita	2	T0	78	15,0	2,5	0,31	8
Requena	2	T0	79	51,5	4,2	0,39	18

Tabla 23-5. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Palmiche	2	T0	80	21,8	4,9	0,31	22
Huayali	2	T1	81	81,0	15,7	0,57	132
Barranquita	2	T1	82	41,5	9,1	0,50	62
Requena	2	T1	83	112,0	24,3	0,66	274
Palmiche	2	T1	84	61,5	13,5	0,48	118
Huayali	2	T1	85	57,7	14,3	0,54	120
Barranquita	2	T1	86	40,5	9,7	0,48	80
Requena	2	T1	87	87,4	17,1	0,65	318
Palmiche	2	T1	88	57,6	14,2	0,50	84
Huayali	2	T1	89	52,5	9,8	0,46	58
Barranquita	2	T1	90	36,7	7,2	0,48	18
Requena	2	T1	91	97,3	21,9	0,75	370
Palmiche	2	T1	92	69,2	15,3	0,50	118
Huayali	2	T1	93	71,0	15,4	0,54	102
Barranquita	2	T1	94	36,8	8,1	0,50	30
Requena	2	T1	95	91,7	20,7	0,66	246
Palmiche	2	T1	96	70,0	13,5	0,52	116
Huayali	2	T2	97	30,5	7,0	0,37	36
Barranquita	2	T2	98	26,2	5,3	0,40	18
Requena	2	T2	99	25,3	6,5	0,44	38
Palmiche	2	T2	100	39,4	8,2	0,40	44
Huayali	2	T2	101	26,2	7,4	0,37	30
Barranquita	2	T2	102	23,5	4,2	0,42	20

Tabla 23-6. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Requena	2	T2	103	21,6	5,3	0,29	23
Palmiche	2	T2	104	35,1	8,0	0,39	25
Huayali	2	T2	105	21,0	4,7	0,33	12

Barranquita	2	T2	106	24,2	4,3	0,41	16
Requena	2	T2	107	18,6	3,6	0,41	16
Palmiche	2	T2	108	43,0	9,9	0,40	16
Huayali	2	T2	109	25,9	6,4	0,36	26
Barranquita	2	T2	110	17,1	2,6	0,39	14
Requena	2	T2	111	21,0	5,9	0,38	16
Palmiche	2	T2	112	23,0	6,0	0,37	16
Huayali	2	T3	113	48,5	10,4	0,48	58
Barranquita	2	T3	114	42,0	9,1	0,38	61
Requena	2	T3	115	63,4	16,5	0,59	148
Palmiche	2	T3	116	73,0	14,5	0,55	96
Huayali	2	T3	117	42,0	12,3	0,48	58
Barranquita	2	T3	118	40,0	9,4	0,53	64
Requena	2	T3	119	77,0	15,5	0,60	146
Palmiche	2	T3	120	69,8	17,5	0,52	98
Huayali	2	T3	121	42,2	9,3	0,46	40
Barranquita	2	T3	122	38,5	8,4	0,52	60
Requena	2	T3	123	78,6	18,6	0,61	158
Palmiche	2	T3	124	70,5	13,7	0,54	90
Huayali	2	T3	125	48,0	11,4	0,47	56

Tabla 23-7. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Barranquita	2	T3	126	47,5	9,7	0,52	60
Requena	2	T3	127	50,0	11,0	0,55	96
Palmiche	2	T3	128	63,6	12,9	0,52	90
Huayali	3	T0	129	23,5	4,5	0,32	20
Barranquita	3	T0	130	25,0	5,1	0,36	16
Requena	3	T0	131	40,6	11,0	0,44	72
Palmiche	3	T0	132	28,2	4,9	0,34	14
Huayali	3	T0	133	15,0	3,4	0,29	16
Barranquita	3	T0	134	24,8	5,0	0,35	18
Requena	3	T0	135	15,0	3,6	0,38	24
Palmiche	3	T0	136	32,4	4,8	0,33	15
Huayali	3	T0	137	39,0	6,5	0,34	28
Barranquita	3	T0	138	16,4	2,6	0,32	13
Requena	3	T0	139	43,2	9,1	0,42	60
Palmiche	3	T0	140	28,2	4,8	0,33	15
Huayali	3	T0	141	16,5	3,6	0,31	16
Barranquita	3	T0	142	15,6	2,8	0,31	5
Requena	3	T0	143	31,8	6,1	0,39	18
Palmiche	3	T0	144	24,0	4,7	0,31	16
Huayali	3	T1	145	61,6	13,6	0,52	94
Barranquita	3	T1	146	46,8	11,5	0,54	112
Requena	3	T1	147	69,4	19,5	0,60	156
Palmiche	3	T1	148	73,4	16,0	0,51	118

Tabla 23-8. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Huayali	3	T1	149	63,0	16,3	0,55	122
Barranquita	3	T1	150	42,5	10,2	0,53	78
Requena	3	T1	151	61,7	17,2	0,58	148
Palmiche	3	T1	152	84,6	15,6	0,53	120
Huayali	3	T1	153	60,0	14,0	0,50	102
Barranquita	3	T1	154	42,0	8,8	0,50	52
Requena	3	T1	155	87,0	19,6	0,62	172
Palmiche	3	T1	156	57,4	15,4	0,51	84
Huayali	3	T1	157	58,0	11,6	0,51	102
Barranquita	3	T1	158	40,5	9,0	0,52	52
Requena	3	T1	159	57,3	14,3	0,55	88
Palmiche	3	T1	160	70,0	14,3	0,51	98
Huayali	3	T2	161	38,5	7,4	0,38	32
Barranquita	3	T2	162	17,8	3,5	0,41	10
Requena	3	T2	163	60,0	12,3	0,47	92
Palmiche	3	T2	164	36,6	9,1	0,42	60
Huayali	3	T2	165	46,8	9,0	0,40	56
Barranquita	3	T2	166	25,0	4,2	0,41	12
Requena	3	T2	167	43,5	4,1	0,41	20
Palmiche	3	T2	168	35,5	9,0	0,41	44
Huayali	3	T2	169	41,8	8,7	0,40	46
Barranquita	3	T2	170	19,7	3,5	0,31	11
Requena	3	T2	171	43,6	9,9	0,46	56

Tabla 23-9. Datos brutos originales obtenidos de variables de desarrollo en campo

Zona	Bloque	Tratamientos	Planta	Altura (cm)	Diámetro (ml)	Clorofila (SPAD)	Nº Hojas
Palmiche	3	T2	172	31,3	10,0	0,43	44
Huayali	3	T2	173	40,0	9,8	0,42	50
Barranquita	3	T2	174	16,4	2,7	0,37	10
Requena	3	T2	175	26,8	4,9	0,43	16
Palmiche	3	T2	176	34,0	7,1	0,40	28
Huayali	3	T3	177	63,5	16,6	0,58	182
Barranquita	3	T3	178	38,5	9,9	0,53	70
Requena	3	T3	179	66,4	15,2	0,53	154
Palmiche	3	T3	180	69,0	13,6	0,53	84
Huayali	3	T3	181	85,0	18,3	0,57	170
Barranquita	3	T3	182	43,5	10,0	0,53	60
Requena	3	T3	183	55,2	15,5	0,56	138
Palmiche	3	T3	184	77,5	14,2	0,50	100
Huayali	3	T3	185	62,0	12,4	0,56	76
Barranquita	3	T3	186	40,0	8,5	0,53	54
Requena	3	T3	187	44,0	16,3	0,58	96
Palmiche	3	T3	188	50,0	11,5	0,50	80
Huayali	3	T3	189	59,5	14,0	0,53	100
Barranquita	3	T3	190	42,5	9,9	0,51	54

Requena	3	T3	191	67,1	16,2	0,55	152
Palmiche	3	T3	192	57,0	13,1	0,49	84

Tabla 24.

Datos obtenidos de evaluación de abundancia de esporas por tratamiento

Parcelas	Tratamiento	Bloque	Esporas	Parcelas	Tratamiento	Bloque	Esporas
Palmiche	T0	I	10,00	Huayali	T0	I	17,00
Palmiche	T1	I	3,00	Huayali	T1	I	8,00
Palmiche	T2	I	1,00	Huayali	T2	I	63,00
Palmiche	T3	I	3,00	Huayali	T3	I	62,00
Palmiche	T0	II	3,00	Huayali	T0	II	11,00
Palmiche	T1	II	6,00	Huayali	T1	II	49,00
Palmiche	T2	II	6,00	Huayali	T2	II	23,00
Palmiche	T3	II	3,00	Huayali	T3	II	11,00
Palmiche	T0	III	5,00	Huayali	T0	III	36,00
Palmiche	T1	III	7,00	Huayali	T1	III	28,00
Palmiche	T2	III	30,00	Huayali	T2	III	66,00
Palmiche	T3	III	7,00	Huayali	T3	III	15,00
Requena	T0	I	8,00	Barranquita	T0	I	10,00
Requena	T1	I	33,00	Barranquita	T1	I	24,00
Requena	T2	I	11,00	Barranquita	T2	I	21,00
Requena	T3	I	26,00	Barranquita	T3	I	8,00
Requena	T0	II	18,00	Barranquita	T0	II	32,00
Requena	T1	II	44,00	Barranquita	T1	II	23,00
Requena	T2	II	30,00	Barranquita	T2	II	8,00
Requena	T3	II	19,00	Barranquita	T3	II	29,00
Requena	T0	III	10,00	Barranquita	T0	III	23,00
Requena	T1	III	10,00	Barranquita	T1	III	19,00
Requena	T2	III	10,00	Barranquita	T2	III	12,00
Requena	T3	III	26,00	Barranquita	T3	III	19,00

Tabla 25. Datos de abundancia de esporas por morfotipos en cada parcela

	Barranquita	Huayali	Palmiche	Requena
Morfotipo 1	81	43	4	34
Morfotipo 2	24	18	0	32
Morfotipo 3	27	54	25	59
Morfotipo 4	36	43	0	43
Morfotipo 5	6	37	4	8
Morfotipo 6	5	2	0	8
Morfotipo 7	9	20	2	11
Morfotipo 8	6	7	13	8
Morfotipo 9	15	0	7	0
Morfotipo 10	6	27	11	11
Morfotipo 11	6	1	11	12
Morfotipo 12	0	0	11	0
Morfotipo 13	0	97	6	0
Morfotipo 14	0	7	0	0
Morfotipo 15	6	3	6	7
Morfotipo 16	0	6	0	0
Morfotipo 17	0	24	0	0
Morfotipo 18	0	0	0	1
Morfotipo 19	0	0	0	11
Morfotipo 20	1	0	0	0

Tabla 26.

Datos originales de colonización micorrícica

Zona	Bloques	Trat.	Colonización	Zona	Bloques	Trat.	Colonización
Huayali	1	T0	0,301	Huayali	2	T2	0,634
Barranquita	1	T0	0,280	Barranquita	2	T2	0,588
Requena	1	T0	0,362	Requena	2	T2	0,496
Palmiche	1	T0	0,385	Palmiche	2	T2	0,705
Huayali	1	T1	0,526	Huayali	2	T3	0,628
Barranquita	1	T1	0,360	Barranquita	2	T3	0,501
Requena	1	T1	0,427	Requena	2	T3	0,512
Palmiche	1	T1	0,460	Palmiche	2	T3	0,626
Huayali	1	T2	0,627	Huayali	3	T0	0,300
Barranquita	1	T2	0,542	Barranquita	3	T0	0,304

Requena	1	T2	0,529	Requena	3	T0	0,425
Palmiche	1	T2	0,686	Palmiche	3	T0	0,366
Huayali	1	T3	0,584	Huayali	3	T1	0,557
Barranquita	1	T3	0,466	Barranquita	3	T1	0,394
Requena	1	T3	0,466	Requena	3	T1	0,484
Palmiche	1	T3	0,648	Palmiche	3	T1	0,506
Huayali	2	T0	0,336	Huayali	3	T2	0,591
Barranquita	2	T0	0,315	Barranquita	3	T2	0,554
Requena	2	T0	0,388	Requena	3	T2	0,557
Palmiche	2	T0	0,405	Palmiche	3	T2	0,730
Huayali	2	T1	0,500	Huayali	3	T3	0,640
Barranquita	2	T1	0,345	Barranquita	3	T3	0,520
Requena	2	T1	0,523	Requena	3	T3	0,438
Palmiche	2	T1	0,524	Palmiche	3	T3	0,650

Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín

por Jefferson Andre Alfaro Oblitas

Fecha de entrega: 01-abr-2024 01:57p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2337116912

Nombre del archivo: Tesis_Informe_Final_Aprobado_22-03.docx (5.88M)

Total de palabras: 20391

Total de caracteres: 112990

Efecto de hongos micorrícicos arbusculares sobre el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra, en cuatro provincias de la región San Martín

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

ÍNDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

5%

2

tesis.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

4%

3

repositorio.unsm.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad Nacional de San Martín

Trabajo del estudiante

2%

5

Submitted to unhuancavelica

Trabajo del estudiante

1%

6

helvia.uco.es

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.una.edu.ni

Fuente de Internet

<1%

8

doczz.net

Fuente de Internet

<1%