

# Potencial bioprotector de Rhizogloium dunense y Paragloium laccatum contra Meloidogyne incognita en plántulas de Coffea arabica en San Martín, Perú

*por* Huber Castillo García

---

**Fecha de entrega:** 14-feb-2024 10:31a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2275945598

**Nombre del archivo:** Tesis\_FINAL\_Huber\_Castillo\_Garc\_a\_FEBRERO\_14-02.docx (18.31M)

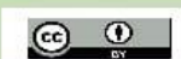
**Total de palabras:** 30767

**Total de caracteres:** 172898



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](#)

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



Obra publicada con autorización del autor



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**

**Tesis**

**Potencial bioprotector de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* contra *Meloidogyne incognita* en plántulas de *Coffea arabica* en San Martín, Perú**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autor:**

Huber Castillo García

<https://orcid.org/0000-0001-8095-6712>

**Asesor:**

Ing. M. Sc Mike Anderson Corazon Guivin

<https://orcid.org/0000-0001-6027-4255>

**Coasesor:**

Ing. Sofia Rengifo del Águila

<https://orcid.org/0000-0003-2474-9932>

**Tarapoto, Perú**

**2023**



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Potencial bioprotector de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* contra *Meloidogyne incognita* en plántulas de *Coffea arabica* en San Martín, Perú**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

**Autor:**

Huber Castillo García

Sustentado y aprobado el 19 de octubre del 2023, ante el honorable jurado

**Presidente de Jurado**

Dr. Jaime Alvarado Ramírez

**Secretario de Jurado**

Dr. Agustín Cerna Mendoza

**Vocal de Jurado**

Blga. M.Sc. Ana Noemí Sandoval  
Vergara

**Asesor**

Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon  
Guivin

**Coasesor**

Blga. Sofía Rengifo del Águila

**Tarapoto, Perú  
2023**



## Ficha de identificación

<b>Título del proyecto</b> <b>Potencial bioprotector de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> contra <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de <i>Coffea arabica</i> en San Martín, Perú</b>	<div style="text-align: right; font-size: small; color: purple; margin-bottom: 5px;">3</div> <b>Área de investigación:</b> Ciencias Agrarias <b>Línea de investigación:</b> Gestión Integral y Sostenible de los Recursos Naturales. <b>Sublínea de investigación:</b> Biotecnología, protección de cultivos, bioprospección y recursos genéticos. <b>Grupo de investigación (indicar resolución):</b> <b>Tipo de investigación:</b> Básica <input checked="" type="checkbox"/> , Aplicada <input type="checkbox"/> , Desarrollo experimental <input type="checkbox"/>
<b>Autor:</b> <b>Huber Castillo García</b>	Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía <a href="https://orcid.org/0000-0001-8095-6712">https://orcid.org/0000-0001-8095-6712</a>
<b>Asesor:</b> <b>Ing. M. Sc. Mike Anderson</b> <b>Corazon Guivin</b>	<b>Dependencia local de soporte:</b> Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio Agronomía <a href="https://orcid.org/0000-0001-6027-4255">https://orcid.org/0000-0001-6027-4255</a>
<b>Coasesor:</b> <b>Blga. Sofía Rengifo del Águila</b>	<div style="text-align: right; font-size: small; color: purple; margin-bottom: 5px;">2</div> <b>Contraparte científica:</b> Facultad o Institución: Facultad de Ciencias agrarias Unidad o Laboratorio: Laboratorio de Biología y Genética Molecular País: Perú <a href="https://orcid.org/0000-0003-2474-9932">https://orcid.org/0000-0003-2474-9932</a>

## **Dedicatoria**

A mis queridos padres Pedro Gonzalo Castillo López y Rosa García Córdova por el apoyo para poder culminar con éxito este proceso de formación profesional, así mismo a mis hermanos que también estuvieron presente en todo este proceso.

A mis familiares, amigos, compañeros y docentes de universidad que estuvieron ahí brindándome todo su apoyo moral, enseñanzas que permitieron ser una buena persona.

A mi esposa Mileny Elizabeth Chavez Segura que estuvo apoyándome y a mi hija Emily Kaory que fue mi motivo para darle fuerzas a mis estudios y poder terminar esta carrera.

## Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por darme una buena la salud y vida para lograr culminar con éxito la carrera profesional.

<sup>2</sup> Al Instituto de Investigación y Desarrollo de la UNSM - T, por el financiamiento para el desarrollo de mi proyecto de investigación, mediante el concurso de proyectos de tesis, periodo 2021, con resolución N° 802-2021-UNSM/CU-R.

<sup>2</sup> A la institución pública PRONABEC por otórgame la beca permanencia académica que fue de gran apoyo económico para poder culminar esta bonita carrera profesional.

Al Ing. Mike Anderson Corazon Guivin, por brindarme el apoyo incondicional en mi formación como profesional y en el acompañamiento incondicional en la elaboración y redacción de este proyecto de tesis para poder realizar un trabajo de buena calidad y obtener los mejores resultados.

Al la Blga. Sofía Rengifo del Águila por su acompañamiento incondicional desde el inicio hasta el final en todos los procedimientos que se realizó en el laboratorio y vivero.

Al Bach. Elvin Delgado Mera, por su acompañamiento en la búsqueda de información para realizar todos los procedimientos que ayudaron a obtener los mejores resultados en este trabajo.

<sup>69</sup> A todos mis compañeros del laboratorio de Biología y Genética Molecular: Angel David Hernández Amasifuén y Adela Vallejos Rodríguez y otros que siempre me acompañaron en los procedimientos para culminar este trabajo de tesis.<sup>3</sup>

## Índice general

Ficha de identificación .....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general .....	9
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras .....	14
RESUMEN.....	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	19
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.2. Fundamentos teóricos .....	24
2.3. Definición de términos .....	31
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	33
3.1.1 Contexto de la investigación.....	33
3.1.2 Periodo de ejecución .....	33
3.1.3 Autorizaciones y permiso.....	33
3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	33
3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales.....	34
3.2. Sistema de variables .....	34
3.2.1 Variables principales.....	34
3.2.2 Variables secundarias .....	34
3.3 Procedimientos de la investigación .....	34
<sup>2</sup> 3.3.3 Evaluar el efecto protector de <i>Rhizoglofus dunense</i> y <i>Paraglofus laccatum</i> en el desarrollo de plántulas de café variedad Caturra infestadas con <i>Meloidogyne incognita</i> . 34	

2	3.3.4	Evaluar el efecto de la inoculación de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> sobre la incidencia y severidad de <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	42
2	3.3.5	Evaluar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> sobre las poblaciones de <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	43
3	3.3.6	Evaluar la actividad antioxidante enzimática (succinato deshidrogenasa y B-glucanasas) y no enzimática (glutación reducido) producto de la interacción Micorrizas y <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	44
2	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		46
	4.1.	Evaluar el efecto protector de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> en el desarrollo de plántulas de café variedad Caturra infestadas con <i>Meloidogyne incognita</i> .....	46
2	4.2.	Evaluar el efecto de la inoculación de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> sobre la incidencia y severidad de <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	75
2	4.3.	Evaluar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> sobre las poblaciones de <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	79
3	4.4.	Evaluar la actividad antioxidante enzimática (succinato deshidrogenasa y B-glucanasas) y no enzimática (glutación reducido) producto de la interacción Micorrizas y <i>Meloidogyne incognita</i> en plántulas de café variedad Caturra.....	81
59	CONCLUSIONES.....		90
	RECOMENDACIONES.....		91
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		92
	ANEXOS.....		108

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Factores que afectan la producción del cultivo. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos de la investigación en plántulas de café variedad Caturra inoculadas con HMA y <i>Meloidogyne incognita</i> . ....	38
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza de la altura de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	46
<b>Tabla 4.</b> Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	49
<b>Tabla 5.</b> Análisis de varianza del número de hojas de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	52
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza del contenido de clorofila en las hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	54
<b>Tabla 7.</b> Análisis de varianza del peso fresco de la biomasa área de café con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	56
<b>Tabla 8.</b> Análisis de varianza del peso seco de la biomasa área de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	58
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza del peso fresco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	60
<b>Tabla 10.</b> Análisis de varianza del peso seco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	62
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza del área foliar de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	64
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus dunense</i> , <i>Paraglyphus laccatum</i> y <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	66

<b>Tabla 13.</b> Datos meteorológicos durante el desarrollo del experimento de plantas de café variedad Caturra inoculadas con <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a durante 145 días.....	68
<b>Tabla 14.</b> Análisis de varianza del contenido de nitrógeno en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	69
<b>Tabla 15.</b> Análisis de varianza del contenido de fósforo en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	71
<b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza del contenido de potasio en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	72
<b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza del porcentaje de incidencia de <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> y <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	75
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza del grado de severidad de <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> y <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	77
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza de la densidad poblacional de <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> y <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	79
<b>Tabla 20.</b> Análisis de varianza de la no actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	81
<b>Tabla 21.</b> Análisis de varianza de la baja actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	82
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza de la alta actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	82
<b>Tabla 23.</b> Análisis de varianza de la concentración de glutatión reducido en hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de <i>Rhizoglyphus</i> <i>dunense</i> , <i>Paraglyphus</i> <i>laccatum</i> y <i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i> a los 145 días posteriores a la inoculación. ....	84

- <sup>8</sup>  
**Tabla 24.** Análisis de varianza de la concentración de glutatión reducido en raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación..... 85
- <sup>24</sup>  
**Tabla 25.** Análisis de varianza de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación..... 87
- <sup>22</sup>  
**Tabla 26.** Análisis de varianza de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación..... 87



## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso de aislamiento e identificación de <i>Meloidogyne incognita</i> . A. Masas de huevos B. Raíces de tomates con nódulos C. Licuado de raíces D. Placas para la eclosión de huevos E. Plántulas de tomate con nematodos E. Nematodos hembras.....	35
<b>Figura 2.</b> Preparación del sustrato: A. Esterilización del suelo. B. mezclado de sustrato C. Llenado de macetas. ....	36
<b>Figura 3.</b> Germinación de semilla: A. Selección de semilla. B. Cama Almaciguera. C. Plántulas en etapa denominada “fosforito”.....	37
<b>Figura 4.</b> Inoculación de los HMA. A. preparación de inóculo micorrízico B. Inoculación de plántula de café variedad caturra. C. Cubrir con sustrato restante. ....	38
<b>Figura 5.</b> Preparación de <i>Meloidogyne incognita</i> : A. Raíces de tomate con nódulos. B. Cortado de raíces. C. Licuado de raíces. D. Filtrado en tamices. E. colocación de los huevos en las placas. F. Homogenización del inóculo. G. Conteo de nematodos. H. Inoculación en el café.....	39
<b>Figura 6.</b> Proceso para determinar colonización: A. preparación de raíces. B. Montado de raíces en laminas. C-D. Estructuras fúngicas (Vesículas-Hifas). ....	41
<b>Figura 7.</b> Escala visual del índice de nodulación (Bridge y Page, 1980). ....	42
<b>Figura 8.</b> Determinación de densidad de nematodos. A. Pesado de muestras de suelo. B. Tubos con malla prefabricados. C. Conteo de nematodos.....	43
<b>Figura 9.</b> Efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> y <i>Paraglyphus laccatum</i> sobre la altura de plantas de café variedad Caturra infestadas con <i>Meloidogyne incognita</i> en mediciones intercaladas de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación. ....	47
<b>Figura 10.</b> Comparación de medias de altura de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd) y <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) infestadas con <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. ....	47
<b>Figura 11.</b> Efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) sobre el diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra, en mediciones intercaladas de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación. ....	50
<b>Figura 12.</b> Comparación de medias del diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. ....	50
<b>Figura 13.</b> Efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) sobre el número de hojas de plantas de café variedad Caturra con conteos intercalados de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación. ....	52

<b>Figura 14.</b> Comparación de medias del número de hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	53
<b>Figura 15.</b> Comparación de medias en el contenido de clorofila en las hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	54
<b>Figura 16.</b> Comparación de medias del peso fresco de la biomasa área de café con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y en nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	56
<b>Figura 17.</b> Comparación de medias del peso seco de la biomasa área de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y el nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> a los 145 días posterior a la inoculación.....	58
<b>Figura 18.</b> Comparación de medias del peso fresco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	60
<b>Figura 19.</b> Comparación de medias del peso seco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	63
<b>Figura 20.</b> Comparación de medias del área foliar de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	64
<b>Figura 21.</b> Comparación de medias del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y el nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	66
<b>Figura 22.</b> Comparación de medias del contenido de nitrógeno en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de <i>Rhizoglyphus dunense</i> (Rd), <i>Paraglyphus laccatum</i> (PI) y <i>Meloidogyne incognita</i> (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.....	70

- Figura 23.** Comparación de medias del contenido de fósforo <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd) y *Paraglo mus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 71
- Figura 24.** Comparación de medias del contenido de potasio <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd), *Paraglo mus laccatum* (PI) y el *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 72
- Figura 25.** Comparación de medias del porcentaje de incidencia del nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos <sup>3</sup> para determinar el efecto de los HMA *Rhizoglo mus dunense* (Rd) y *Paraglo mus laccatum* (PI) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 76
- Figura 26.** Comparación de medias del grado de severidad de *Meloidogyne incognita* (Mi) <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd) y *Paraglo mus laccatum* (PI) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 77
- Figura 27.** Comparación de medias de la densidad poblacional del nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) <sup>3</sup> en plantas de café variedad Caturra de 145 días con diferentes tratamientos para determinar el efecto de los HMA *Rhizoglo mus dunense* (Rd) y *Paraglo mus laccatum* (PI). .... <sup>6</sup> 80
- Figura 28.** Comparación de medias de la actividad de succinato deshidrogenasa <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd), *Paraglo mus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 83
- Figura 29.** Comparación de medias de la concentración de glutatión reducido <sup>22</sup> en hojas y raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd), *Paraglo mus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 85
- Figura 30.** Comparación de medias de la concentración de  $\beta$ -glucanasas <sup>26</sup> en hojas y raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglo mus dunense* (Rd), *Paraglo mus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación. .... 88

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto bioprotector de dos hongos micorrizicos arbusculares *Rhizogloium dunense* y *Paragloium laccatum* sobre el daño causado por *Meloidogyne incognita* en plántulas de café de la variedad Caturra. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial para las evaluaciones de crecimiento vegetativo de la planta y el efecto bioprotector de los HMA. *Rhizogloium dunense* colonizó hasta un 85% el sistema radicular del café; así mismo esta especie incrementó significativamente el desarrollo vegetativo de las plantas e influyó en el incremento de la concentración nutricional (318,3 mg/kg de nitrógeno, 7,9 mg/kg de fósforo y 231,0 mg/kg potasio), presentando un efecto biofertilizante. Al evaluar el efecto bioprotector *Rhizogloium dunense* redujo el grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en las raíces de café, reduciendo de 4,4 a 2,6 el grado de severidad. De igual manera esta micorriza tuvo un efecto positivo de bioprotección de las raíces de café contra *Meloidogyne incognita*, al reducir la población de nematodos en las raíces, disminuyendo de 193 a 71 nematodos/100 g suelo. En las evaluaciones de la actividad antioxidante enzimática y no enzimática en plántulas de café de la variedad caturra infestadas con *Meloidogyne incognita*, se observó la reducción de la concentración de glutatión reducido en las plantas de café inoculados únicamente con *Rhizogloium dunense* (2522,34 mol/g a 1957,97 mol/g); para evaluación de la actividad de B-glucanasas se obtuvo el mayor valor de reacción en el tratamiento inoculado con *Rhizogloium dunense* y *Meloidogyne incognita* (95,26 mol/g). En conclusión, *Rhizogloium dunense* mostró el potencial bioprotector, reduciendo el daño causado por *Meloidogyne incognita* en plántulas de café.

**Palabras clave:** Café, biofertilizante, incidencia, grado de severidad, B-glucanasas, glutatión reducido, bioprotector.

## 1 ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the bioprotective effect of two arbuscular mycorrhizal fungi, *Rhizoglyphus* *dunense* and *Paraglyphus* *laccatum*, on the damage caused by *Meloidogyne* *incognita* in coffee seedlings of the Caturra variety. A completely randomized design (CRD) with factorial arrangement was used to evaluate plant vegetative growth and the bioprotective effect of AMF. *Rhizoglyphus* *dunense* colonized up to 85% of the coffee root system; this species also significantly increased the vegetative development of the plants and influenced the increase in nutritional concentration (318.3 mg/kg nitrogen, 7.9 mg/kg phosphorus and 231.0 mg/kg potassium), presenting a biofertilizing effect. When evaluating the bioprotective effect, *Rhizoglyphus* *dunense* reduced the degree of severity of *Meloidogyne* *incognita* in coffee roots, reducing the degree of severity from 4.4 to 2.6. Similarly, this mycorrhiza had a positive effect of bioprotection of coffee roots against *Meloidogyne* *incognita*, reducing the population of nematodes in the roots, decreasing from 193 to 71 nematodes/100 g soil. In the evaluations of enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity in coffee seedlings of the caturra variety infested with *Meloidogyne* *incognita*, a reduction in the concentration of reduced glutathione was observed in coffee plants inoculated only with *Rhizoglyphus* *dunense* (2522.34 mol/g to 1957.97 mol/g); for the evaluation of B-glucanase activity, the highest reaction value was obtained in the treatment inoculated with *Rhizoglyphus* *dunense* and *Meloidogyne* *incognita* (95.26 mol/g). In conclusion, *Rhizoglyphus* *dunense* showed bioprotective potential, reducing the damage caused by *Meloidogyne* *incognita* on coffee seedlings.

**Keywords:** coffee, biofertilizer, incidence, degree of severity, B-glucanases, reduced glutathione, bioprotectant.



## 4 CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El café es uno de los productos agrícolas más importantes del mundo y tiene un gran impacto económico, social y ambiental en los países productores. El Perú es el principal productor mundial de café arábica orgánico y de Comercio Justo certificado, las zonas cafetaleras del Perú se extienden a lo largo de las laderas orientales de los Andes, cubriendo 17 de 24 regiones. A nivel nacional la región San Martín se ubica como uno de los mayores productores de café con un total de 83 425 toneladas de café pergamino en un área de 81 000 hectáreas cosechadas. Pese a ello, el departamento de San Martín registra una baja productividad y los estándares de calidad del cultivo se sitúan por debajo de lo informado en años anteriores (MINAGRI, 2020). Esta situación se podría deber a las limitaciones agrológicas de los suelos, presencia de fitoparásitos y las malas prácticas agrícolas que no permiten sostener un nivel alto de producción por periodos prolongados. Adicionalmente, las parcelas de café, en su mayoría, se ubican en localidades alejadas o de difícil acceso, lo cual determina complicaciones logísticas para aplicar programas adecuados de nutrición del cultivo con el asesoramiento necesario para realizar prácticas adecuadas con miras a mejorar la producción.

Las principales plagas que dañan al cultivo de café son la broca y los nematodos, estos últimos interfieren en la absorción de agua y nutrientes, y adicionalmente favorecen el ingreso de organismos patógenos (Pérez et al., 2017). Las pérdidas de rendimiento de café debido a la infección por nematodos se estima que puede causar entre 10 y 35%, con algunos indicios de destrucción total de plantaciones (López-Lima et al., 2015). Sin embargo, considerando la naturaleza perenne del café, es difícil estimar con precisión las pérdidas económicas debidas a los nematodos. Las estimaciones de pérdidas también deben considerar el impacto de la infección en la longevidad de la plantación y el costo de replantación de los árboles que no rinden (Saikai et al., 2023). Además de las dificultades prácticas del manejo de nematodos en los cafetales, también se deben tener en cuenta los aspectos de sostenibilidad. El uso de nematicidas (agentes químicos) son a menudo una primera línea de defensa, especialmente en los sistemas agrícolas más comerciales, conllevando a un impacto ambiental el uso intensivo de estos agentes químicos (Alwora y Gichuru, 2014). El uso de microorganismos ofrece alternativas ambientalmente sensibles, especialmente bajo sistemas orientados orgánicamente (Trejo-Aguilar, 2018). En este contexto, existe un creciente interés en el uso de productos de base biológica para el manejo de plagas, enfermedades y la mejora de la producción de café (Saikai et al., 2023).

<sup>1</sup> En los últimos años se ha difundido el importante papel que juegan los microorganismos del suelo, en especial los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), sobre diferentes cultivos. Estos microorganismos establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, con un rol fundamental en el rendimiento de estos cultivos, al generar efectos positivos sobre la nutrición y el desarrollo de la planta. Además, confieren cierto grado de protección frente a enfermedades y plagas (Jacoby et al., 2017). No obstante, a nivel regional aún son insuficientes las investigaciones del efecto bioprotector de estos microorganismos en el cultivo de café, teniendo en consideración la alta riqueza de especies de HMA nativas que se reportan.

En nuestra región se han reportado una gran diversidad de especies de HMA presentes en suelo rizosférico de plantaciones de café. Estudios realizados por la Universidad Nacional de San Martín reportaron a las especies de HMA: *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* (Corazon-Guivin et al., 2020). Estas especies nativas fueron colectadas de plantaciones de café y sacha inchi de parcelas de Chazuta, provincia de San Martín, región San Martín, que podrían tener un gran potencial de favorecer el desarrollo de plantas de café, así como la capacidad de proteger a la planta de café frente a plagas que afectan al cultivo en la región, como es el caso de los nematodos. Por esta razón, el presente trabajo de investigación evaluó el potencial de dos especies nativas (*Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum*) como bioprotectores del café variedad Caturra contra el nematodo *Meloidogyne incognita*.

Se trabajó con plántulas de café de la variedad Caturra por ser una variedad que se adapta muy bien a nuestras condiciones climáticas de la región y por sus características genotípicas y fenotípicas que la caracterizan por tener una buena relación entre calidad precio, que esto lo hace muy apetecible por los caficultores de la región, además de haber muchos estudios realizados con esta variedad para reducir el ataque de plagas y enfermedades con el uso de HMA nativos que nos ayudan a proteger la planta.

<sup>2</sup> En este contexto, el objetivo principal fue evaluar el efecto bioprotector de los hongos micorrízicos arbusculares *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* sobre el daño causado por *Meloidogyne incognita* en plántulas de café de la variedad Caturra, para ello se han fijado los siguientes objetivos específicos:

- a) Evaluar el efecto protector de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* en el desarrollo de plántulas de café de la variedad Caturra infestadas con *Meloidogyne incognita*.

- b) <sup>2</sup> Evaluar el efecto de la inoculación de *Rhizoglosum dunense* y *Paraglosum laccatum* sobre la incidencia y severidad de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.
- c) <sup>2</sup> Evaluar el efecto de *Rhizoglosum dunense* y *Paraglosum laccatum* sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.
- d) Evaluar la actividad antioxidante enzimática (succinato deshidrogenasa y B-glucanasas) y no enzimática (glutatión reducido) producto de la interacción Micorrizas y *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.



## 4 CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

Trejo-Aguilar et al. (2018), realizaron un experimento en la localidad de Veracruz (México) con el objetivo de comparar el efecto de la inoculación con consorcios de hongos micorrízicos y su interacción con nematodos fitopatógenos en plántulas de café (*Coffea arabica*) variedades Garnica, Catimor, Caturra y Catuai. Para ello aisló siete consorcios de hongos micorrízicos nativos de cafetales. Los resultados mostraron que el volumen de la raíz de las plantas que fueron inoculadas con HMA e infestadas con nematodos disminuyó en 70,93%; sin embargo, el área foliar de las plantas se observó con apariencias sanas y vigorosas a pesar de que el nematodo entro en la raíz y causó daños, las hifas de los hongos son capaces de permitir la absorción de nutrientes y la planta completar su desarrollo.

Espinoza (2018), evaluó el potencial de micorrizas arbusculares para controlar nematodos (*Meloidogyne* spp.) en café de la variedad caturra en diferentes condiciones edafoclimáticas en las provincias de Lamas, Moyobamba y Huallaga, de la región San Martín. Para este experimento se utilizó 03 consorcios Micorrízicos colectados de las mismas provincias donde instaló el experimento. Los resultados mostraron que la severidad de infección causada por nematodo a las raíces varía de acuerdo con la zona donde se encuentra el cultivo; es así que en Moyobamba a 1 040 m.s.n.m obtuvo un menor porcentaje con 2,33% de infección, frente a su control que obtuvo un 8,3%, en Lamas a 1 215 m.s.n.m. presentó 2,97% de infección frente a su control que obtuvo un 7,85% y en la provincia del Huallaga a 787 m.s.n.m. obtuvo una infección de 3,21% frente a su control que obtuvo un 5,14%.

Chinchay (2016), realizó su investigación en relación con determinar los efectos que pueden estar presentes en la inoculación de HMA nativos frente al nematodo agallador de raíces (*Meloidogyne* spp.) en el sistema radicular y desarrollo de plantones de café (*Coffea arabica*) variedad Caturra en la región San Martín, está investigación se desarrollo bajo condiciones de vivero. Como resultados de su investigación reportó que algunos consorcios de HMA reducen el porcentaje de infección causada de *Meloidogyne* spp. de 11,19% hasta 4,71%.

Del Águila (2016), en un estudio realizado en las instalaciones del IIAP en condiciones de vivero a 330 m.s.n.m., evaluó el efecto de la inoculación de HMA en plántulas de café, (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra. La inoculación se realizó con diferentes consorcios de micorrizas, colectados en diferentes localidades de la región San Martín (Perú). Los

resultados mostraron que todos los consorcios utilizados presentaron una variación en el porcentaje de colonización (13,8% hasta 30%) y un mayor desarrollo en las plántulas inoculadas.

Cabrera (2017), realizó su investigación evaluando la respuesta antagónica de HMA contra los nematodos del nudo (*Meloidogyne* spp.) en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) bajo condiciones de vivero. Los inóculos de HMA utilizados en este estudio fueron recolectadas de parcelas de sachá inchi y café de las provincias de Lamas y el Dorado. Los resultados mostraron que la infección causada por *Meloidogyne* spp. en plántulas inoculada con HMA se redujo en un 5% comparadas con aquellas que no fueron micorrizadas.

Pu et al. (2022), en un estudio realizado en Nanjing, China, estudiaron el comportamiento de los HMA y su potencial en *Salvia miltiorrhiza* para generar defensas ante las infecciones causadas por *Fusarium*. Realizaron una inoculación anticipada con 1250 esporas/maceta de HMA. El patógeno fue identificado como *F. oxysporum*, este fue multiplicado en las raíces de *S. miltiorrhiza*. Las plantas fueron repicadas a 30 días después la previa inoculación con los hongos micorrízicos arbusculares en macetas con suelo de arroz y vermiculita (1:1 v/v) e inoculados con el patógeno en una concentración de 10 esporas/ml. Para ello realizaron 4 tratamientos: (T1) NM-Fo; (T2) NM+Fo; (T3) MA-Fo; (T4) MA+Fo. Los resultados encontrados mostraron que la incidencia de enfermedad y el índice de enfermedad del T4 fueron solo 18,3% y 15,5%, respectivamente. Se evidenció un incremento en el peso fresco de biomasa aérea y peso fresco de raíz en el tratamiento con HMA, con un 11,74% y 34,56%, respectivamente. La respuesta a la actividad de defensa enzimática en el tratamiento con T4 aumentó la actividad de la  $\beta$ -1,3-glucanasa en un 125%. Asimismo, la actividad de la quitinasa disminuyó significativamente en un 39% y un 45% después de la colonización por HMA o la infección por patógenos, respectivamente.

Mehdinejad et al. (2021), en su estudio realizado en Rafsanjan - Iran investigó hongos antagonistas, micorrizas vesicular-arbuscular (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis caledonius*) y Trichoderma (*Trichoderma aureoviride*, *Trichoderma harzianum*) y mezclas de ambos hongos contra *Meloidogyne javanica* en condiciones de invernadero. El objetivo principal fue evaluar el efecto de hongos antagonistas en la inducción de enzimas de defensa en plántulas de pistacho del cultivar Badami Riz Zarand, para este experimento utilizó un diseño completamente al azar con 12 tratamientos en 3 repeticiones en invernadero. La inoculación se realizó en plántulas de pistacho en la etapa de 8 a 10 hojas con 60 g de mezcla de micorrizas. Para los nematodos se inocularon 5000 juveniles de nematodo de segunda etapa 21 días después del tratamiento con Trichoderma en plántulas de pistacho. se evaluaron los índices de nematodos, número de agallas,

masas de huevos y segundos juveniles por gramo de raíz, el número de huevos en cada masa de huevos y el factor reproductivo después de 75 días para cada tratamiento. El experimento 2 se realizó con objetivo de evaluar el efecto de los tratamientos biológicos sobre índices de nematodos en un diseño completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. Nivel de las enzimas de defensa Peroxidasa (POX), Polifenol oxidasa (PPO) y fenilalanina amonio liasa (PAL) estos se determinaron en cuatro tiempos de un día y medio, tres, cinco y medio y doce días después de la inoculación del nematodo. En los resultados obtenidos el tratamiento con *Trichoderma* mostró una diferencia significativa en todos los indicadores en comparación con los otros tratamientos. El índice reproductivo en el tratamiento con *Trichoderma* y su combinación con tratamiento con micorrizas disminuyó en 72 y 33,3 y la población de nematodos disminuyó en 73,4% y 36,2% en comparación con el testigo, respectivamente. Por otro lado, el tratamiento con micorrizas, aunque no presento diferencias significativas en el índice de agallas y la masa de huevos con respecto al testigo, el número de segundos juveniles y el factor reproductivo de nematodos dieron como resultado una disminución significativa en comparación con el control. Resultados previos sobre especies de micorrizas de *Rizophagus irregularis* en plantas de tomate dieron como resultado que la masa y el número de huevos en las raíces tratadas tienen una reducción significativa. La mayor actividad enzimática para POX y PPO se presentó en varios tratamientos al día 12. La mayor cantidad de actividad PAL en plántulas tratadas con micorrizas y hongos *Trichoderma* se evidenció pasado cinco días y medio después de la aplicación. La concentración de diferentes enzimas aumenta luego del tratamiento con micorrizas y *Trichoderma* en las plantas, cada una de las cuales juega un rol fundamental en la limitación del desarrollo de nematodos.

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1 Generalidades del café

#### a) El café peruano

Díaz y Willems (2017), menciona que el café es uno de los cultivos de mayor área sembrada en la Amazonía (ocupa el 25% del área utilizada para la agricultura), su expansión acelerada ha generado la destrucción de un 45% de bosque primario y el 25% de instalación en purmas.

En todo el territorio peruano un total de 223 902 familias que generan su economía a partir del cultivo del café; en las regiones de Junín, San Martín y Amazonas son las regiones con mayor producción de café, juntas hacen más del 50% del total de la producción nacional de café. Uno de los problemas a los que se afrontan las familias caficultoras es la falta de

organización y mantienen sus fincas, sin manejo técnico a un total de 70% y 80%, sin ninguna facilidad de acceso a préstamos y esto se ve reflejado en la baja productividad, como resultado los bajos ingresos económicos y la pobreza (Díaz y Willems, 2017).

El cultivo del café se encuentra influenciado por distintos factores que determinan la producción del cultivo, los cuales pueden variar en relación con la zona geográfica que influirá en la fisiología de la planta por relación con su estado nutricional, y entre otros factores (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Factores que afectan la producción del cultivo (García et al., 2015)*

<b>Factores del cultivo</b>	<b>Factores edafoclimáticos</b>
Variedades	Fotoperiodo
Fisiológicos	Temperatura (13° C, inferior y 32° C, superior)
Calidad de semilla	Precipitación anual óptima entre 1200 y 1800 mm
Nutrición	Textura y estructura del suelo
Época de siembra	Altitud y latitud
Plagas y enfermedades	Humedad del suelo

#### **b) Interacciones micorriza – café**

De acuerdo con Trejo-Aguilar (2018), la micorriza arbuscular tiene la capacidad de disminuir la susceptibilidad y daños que causan los fitopatógenos a las raíces de las plantas. El cultivo de café es una de las especies de plantas que presentan un grado elevado de micotrofia y se ha realizado estudios en los que se ha comprobado que los HMA favorecen el desarrollo de la planta (Begum et al., 2019; Weng et al., 2022). Las micorrizas generan muchos beneficios a la planta, entre los que más resaltan es la disminución de daños por fitopatógenos que se encuentran en el suelo, entre ellos los nematodos que atacan las raíces del cultivo (Quin et al., 2021; Chandrasekaran, 2022). Las plantas que son inoculadas con HMA siguieron una tendencia de mayor desarrollo por causa de los consorcios, pero se ha sugerido que la respuesta positiva no siempre suele ser el resultado obtenido, por lo que en investigaciones demuestran que los inoculantes

micorrízicos no pueden ser generalizados (Zhahg et al., 2014). Hernández-Acosta et al. (2019) menciona que para determinar el grado de eficiencia de los HMA debemos considerar el inoculante que elegiremos con relación al genotipo de la investigación, de esta manera en su investigación en café demuestra que es importante la elección del inoculante con relación a la variedad de café con los estudios previos que se hayan realizado.

Schouteden et al. (2015), menciona que para que ocurra el biocontrol y genere resultados positivos es necesario el estudio previo de la especie de HMA. El efecto biocontrol de los HMA contra nematodos se ha estudiado desde hace muchos años, y con el desarrollo de paquetes tecnológicos se pueden desarrollar nuevos resultados y más avanzados (Weng et al., 2022).

Los diferentes estudios realizados muestran resultados que la simbiosis que generan los hongos micorrízicos arbusculares y las plantas, ayudando a que estas sean capaces de ser más tolerantes al estrés biótico y abiótico en las que se encuentren (Perrot et al., 2022). Se ha determinado que existe una dominancia de algunos géneros endomicorrízicos en plantaciones de café con particularidades diferentes para poder realizar estudios de diferentes simbiosis que realizan entre plantas y hongos micorrízicos (Cregger et al., 2012; Hawkes et al., 2011).

## 2.2.2 Las micorrizas

### a) Generalidades de las micorrizas

<sup>27</sup> La palabra micorriza (proviene del griego myces hongo y rizhe raíz), que son hongos que se asocian con las plantas; donde Ambos, hongo y planta, salen beneficiados, a esto se conoce como "mutualismo" (Camargo-Ricalde et al., 2012). A través de esta asociación, el hospedero (la planta) que suministra al hongo azúcares, producto de su fotosíntesis que utiliza para completar su ciclo y por otro lado el hongo a través de los micelios le ayuda en un mayor aprovechamiento de los minerales presentes en el suelo (Baker, 2018; Li et al., 2018). El nutriente más preferido es el fósforo y agua, que se encuentran en mínimas cantidades en el suelo, la interacción micorrízica permite que la planta puede explorar más espacio en el suelo (Schweiger et al., 1999). Además, se han realizado estudios que señalan también ayuda en defensa contra microorganismos parásitos presentes en la superficie del suelo (Mlodzinska, 2009). Los HMA son considerados simbioses obligados en los vegetales y se pueden encontrar en cualquier ecosistema del suelo, especialmente en suelos áridos haciendo simbiosis con gran cantidad de plantas (Martínez-García, 2011).



### **h) Importancia y efecto de los HMA**

La importancia de los HMA radica en que la simbiosis entre hongo y las raíces genera múltiples beneficios a la planta, entre los que se puede destacar: aumento en la superficie de absorción de las raíces que se ve reflejado en un mejor aprovechamiento de nutrientes y el otorgamiento de cierto grado de protección y aumento de tolerancia ante condiciones de estrés biótico y abiótico (Garzón, 2015; Qin et al., 2021; Chandresekaran, 2022). A causa de los beneficios anteriores, los HMA están siendo considerados como un mecanismo con gran potencial para realizar un manejo ecológico de la agricultura biológica (Masahari et al., 2023).

### **c) Tipos de micorrizas**

De acuerdo a muchos estudios realizados se puede decir que existen una gran diversidad de especies de micorrizas y tipos. Rivera et al. (2003) mencionan que por su forma de asociación con las plantas existen tres tipos de micorrizas: ectomicorrizas, ectendomicorrizas y endomicorrizas.

#### *a) Las ectomicorrizas*

Son aquellos hongos que se puede visualizar sin la ayuda de un equipo óptico, por presentar una capa común o manto de hifas formando tejidos cuando colonizan las raíces del hospedero (Smith y Read, 2000). Luego de formar estas estructuras las hifas penetran la corteza de la raíz, pero no llegan a penetrarlas a las células formando la red de Harting, causando una serie de cambios en la morfología de la raíz (Torrecillas et al., 2014).

#### *b) Las ectendomicorrizas*

Se caracterizan por presentar características que se encuentran entre las ectomicorrizas y endomicorrizas, estas se encuentran realizando simbiosis en un número reducido de plantas y micetos. (Rivera et al., 2003).

#### *c) Las endomicorrizas*

Son aquellas que no se puede detectar de manera visible, estas pueden formar red externa de hifas de menor abundancia que las ectendomicorrizas. La propagación la realizan a través de las raíces de las plantas con las que hacen simbiosis, penetrando dentro de las "células corticales", pero no son capaces de alcanzar a penetrar en el entodermo. Es un grupo que se encuentra presente en casi todos los ecosistemas del planeta, este se encuentra dividido en varios subtipos, uno de los más sobresalientes e influyentes son un grupo de zigomicetos que pertenecen al orden *Glomales* (Rivera et al., 2003).

### 2.2.3 HMA usados en la agricultura

#### a) Género *Glomus*

Este género se caracteriza por presentar esporas, que en su mayoría son redondeadas y tienen forma de un globo, en algunas ocasiones se encuentra que presentan irregularidades y son pequeñas y su diámetro oscila entre 40 - 70  $\mu\text{m}$ , una de las características visibles al estereoscopio es que presentan un color hialino, amarillo, anaranjado claro y de marrón amarillento a rojo claro. Una de las características de este género es que **organizan en** esporocarpios **laxos de uno a más de esporas**. En ocasiones **se encuentran** esporas agrupadas **que** lo conforman más **de 100 esporas**, estas **esporas se unen** débilmente **entre sí**, mediante conexiones **de** varias hifas. Una de las características de las esporas maduras es que en su interior contienen un líquido aceitoso a manera de gotas y el tamaño varía de una a otra, el proceso de germinación de una espора puede ocurrir por hifa que la sostiene y de vez en cuando lo hace por la pared de la espора (Barrios, 2017).

#### b) Género *Rhizoglomus*

*Rhizoglomus* es un género que se ha descubierto recientemente, abarca especies de hongos micorrízicos arbusculares que con frecuencia forman abundantes esporas en el suelo y las raíces, "se caracteriza morfológicamente por esporas con hifas subtendientes cilíndricas (generalmente con un poro abierto en la base) y al menos dos o tres (rara vez hasta cinco) paredes distintas capas. Filogenéticamente, el género forma un caldo separado en las Glomeraceae. Además de, *R. intraradices*, el género incluye una gran cantidad de géneros *R. aggregatum*, *R. antarcticum*, *R. arabicum*, *R. clarum*, *R. custos*, *R. fasciculatum*, *R. invermaium*, *R. irregulare*, *R. manihotis*, *R. microaggregatum*, *R. natalense* y *R. proliferum*. Algunas de estas especies fueron asignadas previamente a *Rhizophagus*. un género patógeno que no pertenece al *Glomeromycota*" (Sieverding et al., 2014).

### 2.2.4 Los nematodos

#### a) Características generales

Varas (2018) describe a un nematodo, como un fitoparásito que presenta el cuerpo semi transparente, tiene una cubierta incolora que se le denomina cutícula o piel, una de las características más que lo identifican son estrías u otras formas de marcas dependiendo del tipo de especie el nematodo cambia de cutícula cada vez que pasa de una etapa a la otra juvenil en su desarrollo, esta es producida a través de la dermis, que son un tipo de células vivas y estas se encuentran distribuidas dentro de la cavidad del cuerpo y están separados en segmentos que dividen al nemátodo cuatro franjas de tegumentos

segmentales y estos tegumentos son los que hacen posible para que el nematodo pueda desplazarse de un lugar a otro. El cuerpo de la hembra presenta el cuerpo de un color blanco brillante y su cuerpo es de forma circular y tienen forma de una pera y su cuello es curvado, en ocasiones se encuentra doblado. Su longitud se encuentra entre 350  $\mu\text{m}$  y de 3 mm y en un ancho máximo entre 300 y 700 micras (Orbe, 2019).

#### b) Principales fitonematodos

Según Pérez et al. (2017) indica que uno de los factores que influyen en el ataque de fitonematodos al cultivo de café es la elevación sobre el nivel del mar donde se encuentra el cultivo, en un estudio realizado revela que del 40 a 50% de incidencia *Meloidogyne* sp., encontro una cantidad de 22 636 individuos en 25 g de raíz, en localidades menores a los 1 000 m.s.n.m. y 18 132 nematodos en localidades mayor a lo mencionado anteriormente.

#### c) Principales fitonematodos: Género *Meloidogyne*

La germinación de esporas estacionarias o hifales a partir de esporas preexistentes producidas en el suelo es el primer paso en la colonización del sistema radicular por los HMA. A partir de ahí, el micelio se extiende para infectar las raíces. Las dos fases del sistema micelial son el micelio exo-raíz, que está en contacto directo con el suelo, y el micelio endo-raíz, que se encuentra dentro de la corteza de la raíz y difiere en reproducción y expansión (Smith y Read, 2000).

Los fitonematodos del género *Meloidogyne* son parásitos sedentarios obligados que se caracterizan por presentar una gran importancia económica que se encuentran formando parte de los factores que limitan el rendimiento de los cultivos en las zonas tropicales y subtropicales del mundo. *Meloidogyne* spp. es un fitonematodo que puede parasitar a un promedio de 3 000 especies de plantas, entre cultivares y silvestres (Vera, 2014).

Según (Peraza-Padilla 2013) este género puede encontrarse asociadas a la mayoría de los cultivos de cualquier ecosistema y causan muchos problemas en el desarrollo de las plantas y como consecuencia de ello la reducción de la producción.

#### Clasificación taxonómica

Reino : Animalia

Filo : Nematoda

Clase : Secernentea

Orden : Tylenchida

Familia: Heteroderidae.

Género : *Meloidogyne*.



### 2.2.5 Defensas antioxidantes de las plantas

Las plantas se caracterizan por presentar un sin número de sistemas de defensas antioxidantes (enzimática y no enzimática) para que estas obtengan sus funciones de señalización; algunas de las respuestas que la planta utiliza para defenderse o adaptarse pueden considerarse como un sin número de factores abióticos y bióticos, así como los que no son preferentemente estreses (Gill y Tuteja, 2010; Fitter et al., 2004).

#### a) Defensas antioxidantes enzimáticas

**Succinato deshidrogenasa (SDH):** Es una enzima que participa en el ciclo del ácido tricarbóxico de los hongos micorrícicos arbusculares que reacciona con nitroazul cloruro de tetrazolio (NBT) para formar formazán insoluble este es muy visible en las raíces (Vierheilig et al., 2005; Saito et al., 1993). La SDH es una actividad enzimática que nos permite evaluar la viabilidad de estructuras microscópicas o el estado funcional de tejidos fúngicos que se encuentran metabólicamente activos (MacDonald y Lewis, 1978).

Con estas evaluaciones nos permiten detectar y determinar la colonización fisiológicamente activa sobre la base de las actividades enzimáticas del HMA. Con este método, se tiñen todas las estructuras fúngicas de los HMA metabólicamente activos, como hifas, esporas, vesículas y arbusculos (Vierheilig et al., 2005). Todos los hongos colonizadores revelados por la tinción de la pared celular fúngica son metabólicamente activos en plantas jóvenes, pero este puede no ser el caso en plantas más viejas (Abdel-Fattah, 2001).

**$\beta$  – Glucanasas.** Son enzimas que se encuentran comúnmente en todo el reino vegetal y existe bastantes estudios que están involucradas en la respuesta al estrés y específicamente en el mecanismo de defensa de las plantas contra la infección por patógenos (Perrot et al., 2022) Pero este mecanismo de defensa está en relación con que las  $\beta$ -glucanasas participan principalmente en el ensamblaje y reparación/edición de microfibrillas de celulosa durante la biosíntesis de celulosa en plantas (Vain et al., 2014). En consecuencia, las  $\beta$ -glucanasas están ancladas a la membrana plasmática asociadas con el complejo de celulosa sintasa y son necesarias para la correcta biosíntesis de celulosa en las paredes primaria y secundaria (Gu y Rasmussen, 2022). También se encuentran implicadas en el mantenimiento de la resistencia mecánica de la pared secundaria de las células, mediante para el desarrollo de la pared secundaria puede conducir a que la planta presente un aumento en la cristalinidad de la celulosa, facilitando el recubrimiento de microfibrillas de celulosa con xilanos durante la formación de la pared secundaria, lo que da como resultado paredes reforzadas (Glass et al., 2015).

## **2** Defensas antioxidantes no enzimáticas

**Glutatión reducido (GSH).** Es un tripéptido no proteico que se caracteriza por presentar bajo peso molar formado por los aminoácidos L-cisteína, ácido L-glutámico y glicina que lo podemos encontrar presente en varios tejidos de las plantas (Fujita y Hasanuzzaman, 2022; Lorang, 2019). El glutatión es indispensable para una buena defensa hacia el ataque patógenos de las plantas en respuesta al estrés que es causado por estos microorganismos que producen en las plantas un estrés oxidativo (Meyer et al., 2001). Por lo tanto, la concentración de glutatión reducido está implicada en la respuesta al estrés biótico en las plantas, debido a que una planta infectada por algún patógeno induce a la producción de peróxido de hidrógeno como parte de la respuesta hipersensible, y la cual es potenciada por el óxido nítrico (Pogány et al., 2009; Kuźniak et al., 2013). Las células vegetales desafiadas con un aumento de peróxido de hidrógeno utilizan su maquinaria antioxidante para mantenerlo bajo control, lo que a su vez conlleva a elevar la concentración de glutatión reducido en conjunto con distintos cambios en el contenido de glutatión en diferentes compartimentos subcelulares (Palmieri et al., 2010; Han et al., 2013; Zechmann, 2020).

### **1** 2.3. Definición de términos

**HMA (hongos micorrízicos arbusculares):** son microorganismos que se encuentran presentes en el suelo y realizan simbiosis con las plantas. Estos aportan beneficios a las plantas, ayudándoles en la absorción de nutrientes que se encuentran en pocas cantidades en el suelo y actuando como bioprotector contra microorganismos que atacan a la raíz (Barrera, 2009).

**Porcentaje de colonización:** se define como la presencia de estructuras fúngicas dentro de la raíz de una planta, las raíces colonizadas se obtiene con la proporción número de cruces de raíces colonizadas, dividiendo con el número total de raíces cruzadas en una cuadrícula de la caja Petri multiplicado por 100 (Sangabriel-Conde et al., 2010).

**Fitonematodo:** son nematodos que atacan a las plantas, y se puede definir como organismos filiformes, presentan el cuerpo sin segmentos, redondeados, parecidos a lombrices y que son cubiertos de una cutícula de color hialina y presentan un estilete (Guzmán et al., 2012).

**Incidencia:** se define como el número de órganos afectados con respecto a la totalidad de los órganos estudiados de la planta (Arguedas-Gamboa et al., 2019).

**Severidad:** se define como “la frecuencia con la que se presentan las diferentes categorías de daño en relación con el total de árboles enfermos” (Arguedas-Gamboa et al., 2019).

**Colonización:** la colonización de las hifas de los HMA es aquella que <sup>5</sup>inicia por la epidermis de la raíz de la planta, los arbusculos, colis y vesículas son denominados hifas <sup>5</sup>extra radicales, la colonización del hongo a la planta se puede determinar como el porcentaje de vesículas e hifas septadas entre sitios de la raíz (Lara-Pérez et al., 2014).

**Micorriza:** se denomina como <sup>1</sup>la asociación de las raíces de las plantas con un grupo de hongos presentes en el suelo, esta es la que se encuentra con mayor frecuencia y representa a los órganos del hongo y ayuda a <sup>1</sup>la absorción de agua y nutrientes a la planta (Herrera et al., 2019).

**Arbusculos:** son definidos como “una hifa que se encuentran en la estructura central de la simbiosis micorrízica arbuscular juegan un papel crucial en las funciones principales de interacción, la mejora de la nutrición de las plantas y el biocontrol de los patógenos de las raíces” <sup>1</sup>(Franken et al., 2007).

### 3 CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

##### 3.1.1 Contexto de la investigación

###### a) Ubicación política

El trabajo se realizó en el vivero de la Escuela de Agronomía de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, que se encuentra ubicado en el Jr. Amorarca 3ra cuadra – distrito de Morales, provincia de San Martín, región San Martín.

###### b) Ubicación geográfica

Se encuentra en el distrito de Morales en el jirón Amorarca, ciudad universitaria en el vivero de la Facultad de Ciencias Agrarias, pabellón B.

Latitud: -6°29'11.69"S

Longitud: -76°22'46.14"O

Altitud: 230 m.s.n.m.

##### 2 3.1.2 Periodo de ejecución

El presente estudio de investigación se realizó entre julio de 2021 a noviembre de 2022.

##### 3.1.3 Autorizaciones y permisos

La utilización de microorganismos del banco de germoplasma de hongos micorrízicos arbusculares del LBGM, no está restringida para su uso en bio-ensayos de investigación.

##### 3.1.4 Control ambiental y protocolos de bioseguridad

En el Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM) de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM), y vivero se realizó un adecuado manejo de los plásticos, colocándolos en un lugar separado de los residuos orgánicos, los reactivos utilizados se colocaron en un lugar donde no afectaba al agua y las personas.

Como protocolos de bioseguridad se tomó un lugar alejado para evitar la diseminación de los nematodos y esto haya afectado a otros experimentos dentro del vivero y sala de crecimiento vegetal. En esta última, se realizó un control de condiciones de humedad, temperatura, riego, iluminación (controlando las horas luz), para la inoculación de los nematodos en plántulas de café caturra. Además, se implementó protocolos de bioseguridad en áreas donde se realizó los trabajos, sometiendo los materiales a esterilización a 121°C por 15 minutos.

#### 4 3.1.5 Aplicación de principios éticos internacionales

La presente investigación respeta los principios éticos generales de la investigación: totalidad/integridad, respeto a las personas, respeto al ecosistema, beneficencia y justicia.

### 3.2. Sistema de variables

#### 3.2.1 Variables principales

##### Variable independiente

- Inoculación de <sup>1</sup>plántulas de café variedad Caturra con especies nativas de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum*.
- Infestación con *Meloidogyne incognita*.

##### Variable dependiente

- <sup>3</sup>Porcentaje de colonización de HMA en raíces de café.
- Características del <sup>1</sup>desarrollo vegetativo de plántulas de café variedad caturra.
- Grado de incidencia y severidad causada por *Meloidogyne incognita* en las raíces de <sup>1</sup>café variedad Caturra.

#### 2 3.2.2 Variables secundarias

- Contaminación no controlada del patógeno *in vitro*.
- Condiciones semicontroladas de plagas y enfermedades para el desarrollo de las plántulas de café variedad Caturra.

### 2 3.3 Procedimientos de la investigación

#### 3.3.3 Evaluar el efecto protector de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* en el desarrollo de plántulas de café variedad Caturra infestadas con *Meloidogyne incognita*.

##### a) Actividades preliminares

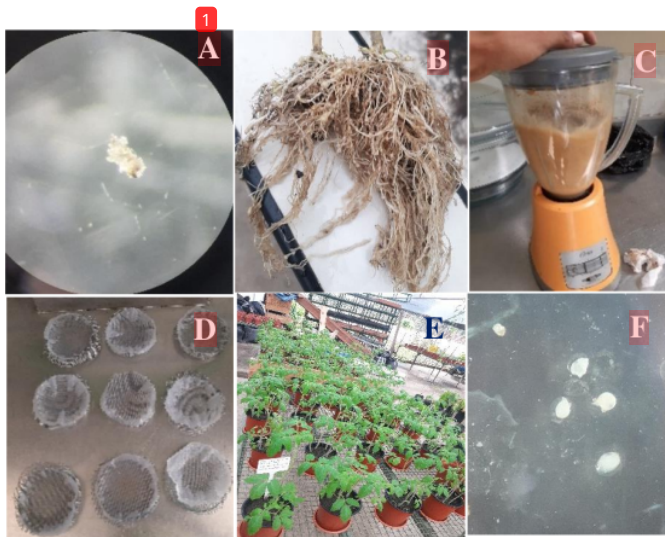
Para determinar la especie de *Meloidogyne* más dominante en las plantaciones de café, se recolectaron raíces con agallas de nematodos y con ayuda de un estereoscopio se separaron las masas de huevos encontradas estas <sup>53</sup>se colocaron en una placa Petri con agua por 48 horas luego de obtener los juveniles, los nematodos obtenidos se colocaron en una maceta con plántulas de tomate, durante un periodo de tres meses.

### Identificación molecular de *Meloidogyne incognita*

Para este proceso se extrajeron 10 nematodos hembras por plántulas de tomate, para ello se usaron los primers Mi-Fv (5'-GTGAGGATTGAGCTCCCCAG-3') y Mi-Rv (5'-ACGAGGAACATACTTCTCCGTCC-3'), primers específicos para la identificación de *Meloidogyne incognita*.

### Multiplicación de *Meloidogyne incognita* identificada.

Luego de la identificación de la especie *Meloidogyne incognita*, se procedió nuevamente a multiplicar los nematodos en plántulas de tomate y se procedió a la siguiente metodología de Atamian et al., (2012). Se lavaron las raíces con hipoclorito de sodio al 0.05%, luego se cortaron las raíces en trozos de 10 centímetros aproximadamente y se licuaron por 3 veces con un intervalo de 30 segundos cada una. Luego con se realizó el lavado con abundante agua y la ayuda de 2 tamices, de 250  $\mu\text{m}$  y 38  $\mu\text{m}$  uno sobre otro, realizar el lavado con abundante agua. Se recolectó todo lo obtenido en el tamiz de 38  $\mu\text{m}$ . Luego se colocó sobre una placa Petri con maya metálica prefabricada, papel toalla y agua destilada y sobre ello se colocó los huevos obtenidos en el tamiz de 38  $\mu\text{m}$  y se dejó eclosionar por 48 horas. Los nematodos juveniles obtenidos se colocaron nuevamente en plántulas de tomate para posteriormente ser utilizados como fuente de inóculo en las plántulas de café (Figura 1).



**Figura 1.**

Proceso de aislamiento e identificación de *Meloidogyne incognita*. A. Masas de huevos B. Raíces de tomates con nódulos C. Licuado de raíces D. Placas para la eclosión de huevos E. Plántulas de tomate con nematodos E. Nematodos hembras.



### b) Preparación de *Meloidogyne incognita*

Para preparación de la fuente de inóculo se repitió el proceso anterior, todos los nematodos juveniles obtenidos se colocaron en un vaso de precipitado en agitación magnética para homogenizar. <sup>72</sup> para determinar el número de nematodos por ml de agua se colocó en una placa Petri y se realizó el conteo con la ayuda de un estereoscopio y un contador manual.

La inoculación se realizó con un total de 2000 nematodos juveniles por cada maceta de plántula de café después de 30 días de sembrada en la maceta.

### Preparación de sustrato

El sustrato empleado para la investigación estuvo constituido por suelo agrícola y arena de cuarzo, los cuales previamente fueron esterilizados en tres ocasiones a 121° C durante 1 hora. Posterior a la esterilización del suelo agrícola y arena se dejaron secar por tres semanas y posteriormente se continuo con el llenado de las macetas de plástico de 3 kg, cada maceta contenía <sup>3</sup> suelo agrícola y arena en una proporción 2:0.5 (Figura 2).



**Figura 2.** Preparación del sustrato: **A.** Esterilización del suelo. **B.** mezclado de sustrato **C.** Llenado de macetas.

### <sup>3</sup> c) Colecta y germinación de la semilla

Las semillas de café variedad Caturra fueron colectadas en campo y seleccionadas a partir de plantas libres de enfermedades. La germinación de las semillas se realizó en una cámara de germinación con arena estéril, las semillas fueron cubiertas con una capa fina de arena y se mantuvieron con riegos a capacidad de campo durante 30 días. Transcurrido el tiempo se observó la emergencia y formación radicular, etapa denominada "fosforito" a las plántulas en

germinación. Las plántulas en emergencia se sembraron en macetas con los sustratos estériles establecidos (Figura 3).



**Figura 3.**

Germinación de semilla: **A.** Selección de semilla. **B.** Cama Almaciguera. **C.** Plántulas en etapa denominada "fosforito".

3

#### d) Inoculación de los HMA

Se emplearon las cepas de HMA *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum*, ambas cepas fueron colectadas de plantaciones de café y sachá inchi de parcelas de Chazuta, provincia de San Martín, región San Martín con las coordenadas UTM (18 M 377,2029,274,203., posteriormente fueron identificadas molecularmente y multiplicadas en plantas trampa de sorgo y brachiaria en macetas, en condiciones de vivero. Luego fueron almacenadas a 4 °C en el laboratorio hasta su uso. Los inóculos de HMA estuvieron establecidos en diferentes tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 2. Así mismo, cada inóculo estuvo compuesto por 1000 esporas por maceta e inoculados mediante recubrimiento de semilla (Figura 4).



Tabla 2

Tratamientos de la investigación en <sup>1</sup>plántulas de café variedad Caturra inoculadas con HMA y *Meloidogyne incognita*.

Tratamientos	Descripción
Control	Plántula de café variedad Caturra
Rd	Plántula de café variedad Caturra + <i>Rhizoglyphus dunense</i>
PI	Plántula de café variedad Caturra + <i>Paraglyphus laccatum</i>
Rd+PI	Plántula de café variedad Caturra + <i>Rhizoglyphus dunense</i> + <i>Paraglyphus laccatum</i>
Rd+Mi	Plántula de café variedad Caturra+ <i>Rhizoglyphus dunense</i> + <i>Meloidogyne incognita</i>
PI+Mi	Plántula de café variedad Caturra + <i>Paraglyphus laccatum</i> + <i>Meloidogyne incognita</i>
Rd+PI+Mi	Plántula de café variedad Caturra + <i>Rhizoglyphus dunense</i> + <i>Paraglyphus laccatum</i> + <i>Meloidogyne incognita</i>
Mi	Plántula de café variedad Caturra + <i>Meloidogyne incognita</i>



Figura 4.

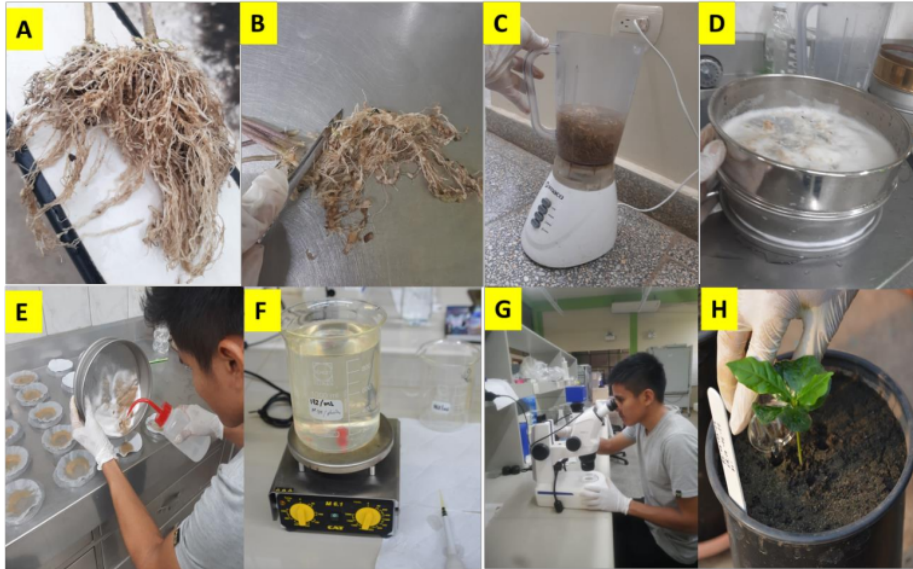
Inoculación de los HMA. A. preparación de inóculo micorrízico B. Inoculación de plántula de café variedad Caturra. C. Cubrir con sustrato restante.

<sup>1</sup>

#### e) Inoculación de *Meloidogyne incognita*

Para la inoculación de los nematodos previamente se dejó a las plantas de café con las micorrizas durante 30 días posteriores a su siembra, transcurrido esos días se inició con la infestación con nematodos. Para ello se tenían preparadas las muestras como se describió

anteriormente. Estableciéndose un total de 2000 nematodos por maceta. Una vez obtenido el número de nematodos deseado, se transfirieron al vivero para su respectiva inoculación en cada maceta con planta de café micorrizadas (Figura 5).



**Figura 5.** <sup>6</sup> Preparación de *Meloidogyne incognita*: **A.** Raíces de tomate con nódulos. **B.** Cortado de raíces. **C.** Licuado de raíces. **D.** Filtrado en tamices. **E.** colocación de los huevos en las placas. **F.** Homogenización del inóculo. **G.** Conteo de nematodos. **H.** Inoculación en el café.

#### f) Evaluaciones de plántulas de café variedad Caturra

Las plantas de café en los diferentes tratamientos se mantuvieron en condiciones de vivero durante 145 días posteriores a la inoculación de los HMA y nematodos. Durante el transcurso de los 145 días que constituyeron la investigación en vivero se realizaron diferentes tipos de evaluaciones para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* y *Paraglopus laccatum* en el desarrollo de plántulas de café y el efecto de *Meloidogyne incognita*.

#### g) <sup>1</sup> Altura de plantas de café variedad Caturra

La medición de la altura de la plántula de café se realizó a partir de un mes después del repique en las macetas, las evaluaciones se realizaron cada 15 días, la toma de las medidas se utilizó una regla metálica graduada, la medida se tomó desde la base de la planta hasta la base de la yema terminal. <sup>8</sup>

#### h) <sup>1</sup> Diámetro de tallo

La medición del diámetro del tallo se realizó a partir de un mes después del repique en las macetas, las evaluaciones se realizaron cada 15 días, la toma de las medidas se utilizó un vernier digital y se realizó la medición a 1 cm del sustrato.

#### i) <sup>1</sup> Número de hojas

El conteo del número de hojas se realizó cuando salieron las primeras hojas verdaderas después del cotiledón, las evaluaciones se realizaron cada 15 días, en un total de 115 días.

#### j) <sup>49</sup> Contenido de clorofila

Para la medición del porcentaje de clorofila se realizó después de los 145 días de la siembra de las plántulas estaban en las macetas y para este proceso se utilizó un medidor de clorofila SPAD <sup>44</sup> Single-photon avalanche diode (Diodo de avalancha de fotón único), que nos determinó el contenido de clorofila a y b.

#### k) <sup>2</sup> Peso fresco de la biomasa

Las plantas de café se cortaron a 1 cm del sustrato a los <sup>3</sup> 145 días de sembradas en las macetas, a partir de ello se pesó el tallo, las hojas y las raíces en una balanza analítica.

#### l) <sup>2</sup> Peso seco de la biomasa

Las hojas, tallos y raíces posterior a su pesado fueron trasladados a una estufa de 60°C durante 3 días, para su desecación y a partir de esto <sup>4</sup> se realizó el pesado de las muestras en una balanza analítica.

#### m) <sup>4</sup> Área foliar

Se recolectaron <sup>4</sup> todas las hojas de cada planta y fueron escaneadas para determinar el área foliar (cm<sup>2</sup>) mediante el uso del programa FIJI (Fiji Is Just Image).

#### n) <sup>19</sup> Análisis foliar de NPK

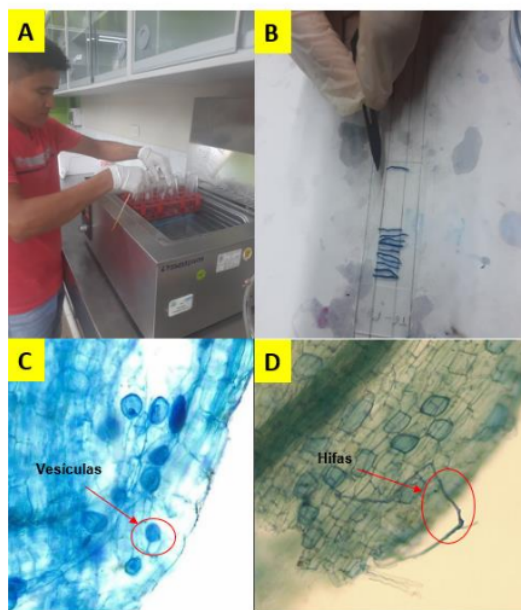
Las muestras de hoja y tallo secos (biomasa seca) fueron enviados al <sup>19</sup> Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) para la realización de los análisis nutricionales (NPK).

## o) <sup>14</sup> Porcentaje de colonización micorrícica

### Tinción de raíces

Para determinar el porcentaje de colonización de los HMA a las raíces, se utilizó el método de Phillips y Hayman (1970), el procedimiento se inició colocando las raíces en tubos de ensayo que contenían KOH cubriéndolas por completo, luego se colocó durante 60 minutos en baño maría a 90°C. Luego se agregó peróxido de hidrógeno de 20 de volumen por un minuto y seguidamente se enjuagó tres veces con agua y se agregó tinta Parker azul por 15 minutos a temperatura ambiente. Se colocó por 10 minutos en baño maría a 90° y posteriormente se le enjuagó 2 veces con agua. Se agregó lactoglicerol, luego se montó en láminas y se cubrió con cubreobjetos luego se visualizó en el microscopio óptico con un aumento de 200X (Figura 6). El porcentaje de colonización con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de colonización} = \frac{N^{\circ} \text{ de raíces colonizadas}}{N^{\circ} \text{ total de raíces observadas}} \times 100$$



**Figura 6.**

Proceso para determinar colonización: **A.** preparación de raíces. **B.** Montado de raíces en laminas. **C-D.** Estructuras fúngicas (Vesículas-Hifas).

## p) Análisis estadístico

Todas las evaluaciones morfológicas, colonización y contenido de NPK fueron analizados mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4x2b, teniendo como

variable a los HMA y como variable b a los nematodos. A partir de ello se realizó una comparación de medias para determinar los mejores tratamientos, mediante una comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ). Todos los análisis se realizaron con el programa estadísticos R.

### 3.3.4 Evaluar el efecto de la inoculación de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* sobre la incidencia y severidad de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.

#### a) Determinación de porcentaje de incidencia

Para ello se contó el número de plantas que fueron afectadas con los nematodos entre el número de plantas muestreadas por 100.

#### b) Determinación de índice de severidad

Para este procedimiento se realizó luego de cinco meses de edad de las plántulas, las cuales se separaron del suelo de las raíces del café y se contaron el número de nódulos presentes en las raíces y se comparará con la escala visual del índice de nodulación (Bridge y Page, 1980) que va desde el grado 0 hasta 10 (Figura 7).



Figura 7.

Escala visual del índice de nodulación (Bridge y Page, 1980).



### c) Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante un diseño completamente al azar. A partir de ello se realizó una comparación de medias para determinar los mejores tratamientos, mediante una comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ). Todos los análisis se realizaron con el programa estadísticos R.

### 3.3.5 Evaluar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.

#### a) Determinación de densidad de nematodos

Las plántulas de café en los diferentes tratamientos se mantuvieron en condiciones de vivero durante 145 días posteriores a la inoculación de los HMA y nematodos. Transcurrido el tiempo establecido se realizó la evaluación de las densidades poblacionales de nematodos presentes en el suelo, raíz y en total. La evaluación se realizó mediante el método de la bandeja con modificaciones basado en Rojas y Salazar (2013).

Se pesó 100 gramos de suelo de cada una de las macetas de los tratamientos que se habían inoculado nematodo. Se colocó en tubos con malla prefabricados, estos se colocaron en envases de plástico de medio litro, adicional a ello se colocó papel toalla. Posteriormente se agregó el suelo en cada envase y luego se humedeció agua filtrada hasta el nivel del suelo, esto se dejó reposar por 48 horas. Luego de transcurrido ese tiempo el agua se pasó por un tamiz de  $37 \mu\text{m}$ , donde quedaron los nematodos, estos con la ayuda de una piseta con agua se colocó en una placa Petri graduada. Finalmente, el conteo se realizó con la ayuda de un contador manual (Figura 8).



**Figura 8.**

Determinación de densidad de nematodos. **A.** Pesado de muestras de suelo. **B.** Tubos con malla prefabricados. **C.** Conteo de nematodos.



## b) Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante un diseño completamente al azar. A partir de ello se realizó una comparación de medias para determinar los mejores tratamientos, en el caso presentarán diferencia significativa, mediante una comparación de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ). Todos los análisis se realizaron con el programa estadísticos R.

### 3.3.6 Evaluar la actividad antioxidante enzimática (succinato deshidrogenasa y B-glucanasas) y no enzimática (glutación reducido) producto de la interacción Micorrizas y *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.

#### a) Determinación de la enzima succinato deshidrogenasa

Las raíces de diferentes tratamientos se cortaron en segmentos de 1 cm de longitud y se incubaron en una solución buffer SD en tubos de 2 ml y se incubaron a 25 °C durante 5 horas. Transcurrido el tiempo se eliminaron la solución buffer SD y se añadió hidrato de cloral, seguido se llevaron las muestras a baño maría durante 60 minutos a 90° C. A continuación, se eliminó el hidrato de cloral y se cubrieron las raíces con fucsina y se contratiñeron durante 2 días. Finalizada la tinción, las muestras fueron enjuagadas en lacto glicerol y fueron cortadas las raíces para ser montadas en láminas portaobjeto. Luego se observaron en el microscopio a 20x. Las zonas donde actuó la SDH se visualizaron de color azul oscuro y las áreas de micelio inactivo o muerto se tiñeron de rosado. Escala: sin actividad (sin tinción), baja actividad (tinción normal) y alta actividad (tinción densa).

#### b) Determinación del glutación reducido (GSH)

Se pesaron 0,1 g de tejidos de hojas y raíces para luego ser trituradas con ayuda de morteros en nitrógeno líquido. Una vez las muestras estuvieran polvos se añadió 250 µl de TCA 3% y se mezcló por inmersión 8 veces. Posteriormente, las muestras fueron llevadas a centrifugación 13500 rpm durante 10 minutos y traspasar cuidadosamente el sobrenadante para preparar la siguiente mezcla de reacción: 300 µl de la muestra (TCA 3% en el caso de blanco), 400 µl de Buffer Tris HCL 1M pH 8, 250 µl de agua. La mezcla se incubo a 28° durante 30 minutos. Posteriormente se añadió 50 µl de DNTB a 5 mM y se incubo a temperatura ambiente por 15 minutos. Transcurrido el tiempo se debe medir la muestra blanco en una absorbancia de 412 nm y se continuó con la determinación del contenido de glutación por medio de una curva de concentración o calibración de GHS. Con los resultados se determinó los coeficientes de la función lineal para determinar la concentración de GSH. Una vez determinadas las variables se calculó la concentración de GSH (Para cada muestra del ensayo) empleando la siguiente formula:

$$\text{GSH (nmol/g)} = \frac{[\text{GSH}] \cdot \text{vol. de reacción} \cdot \text{vol. Extracción/vol. Alícuota} \cdot \text{PF} \cdot 100}{9}$$

- Vol. Reacción ( $\mu\text{l}$ ): volumen de la mezcla de reacción, que en este caso va a ser 1000.
- Vol. Extracción ( $\mu\text{l}$ ): volumen de extracción, que en este caso va a ser 750.
- Vol. alícuota ( $\mu\text{l}$ ): volumen de alícuota de extracto utilizada en la mezcla de reacción, que en este caso es 300.
- PF (g): peso fresco de la muestra que en este caso va a ser alrededor de 0,1g.

### c) Determinación del $\beta$ -glucanasas

Se pesaron 0,1 g de tejidos de hojas y raíces para luego ser trituradas con ayuda de morteros en nitrógeno líquido. Se tomó 100  $\mu\text{l}$  de extracto crudo y se mezcló con 900  $\mu\text{l}$  de laminaria al 0,09% diluida en acetato de sodio 0,1 M pH 6,8, se incubó a 35° C durante 1 hora a 350 rpm. Posteriormente se añadió 1 ml de reactivo de Somogyi y se calentó en agua hirviendo por 15 min, transcurrido el tiempo se dejó enfriar para poder adicionar 1 ml de reactivo de Nelson y con ello se realizó lecturas a 520 nm, 610 nm y 660 nm en espectrofotómetro. Se utilizó glucosa como estándar y se realizó la curva de la calibración con una solución de glucosa a 100 mM, de la cual se diluyó 10 mM para preparar las siguientes concentraciones. Con los resultados obtenidos se determinó el coeficiente de función lineal y la concentración de glucosa:

$$\text{Abs} = \text{GLU} \cdot a + b$$

$$\text{GLU} = \frac{(\text{Abs} - b)}{a}$$

Finalmente se calculó la concentración de la enzima mediante la siguiente fórmula:

*Concentración enzimática*

$$= \frac{\text{Producto GLU} \left[ \frac{\mu\text{l}}{\text{ml}} \right] \times \text{Vol de reacción} [\text{ml}]}{\text{Tiempo de reacción} [\text{min}] \times \text{Vol extracción} [\text{ml}]} \text{ (U/ml)}$$

### d) Análisis estadístico

Todas las evaluaciones de morfológicas, colonización y contenido de NPK fueron analizadas mediante un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4x2x2, teniendo como variable a los HMA y como variable b a los nematodos. A partir de ello se realizó una comparación de medias para determinar los mejores tratamientos, mediante una comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluar el efecto protector de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* en el desarrollo de plántulas de café variedad Caturra infestadas con *Meloidogyne incognita*.

Las plantas de café en los diferentes tratamientos establecidos mostraron diferencias en todos los parámetros evaluados tanto durante la ejecución en circunstancias de vivero como en las evaluaciones finales después de 145 días de inoculación HMA y *Meloidogyne incognita*. Todas las evaluaciones realizadas permitieron determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* en el desarrollo de plántulas de café y su efecto protector sobre *Meloidogyne incognita*. A continuación, se presentan los resultados de todas las evaluaciones establecidas.

#### a) Altura

El análisis de la altura de las plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación con HMA e infección con *Meloidogyne incognita*, evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, (Tabla 3). La primera evaluación de la altura de las plantas se realizó a los 30 y así en forma periódica cada 15 días, empezándose a observar diferencias significativas entre los tratamientos a los 75 días. Los tratamientos con mayor promedio de altura fueron Rd, Rd+PI, Rd+Mi y Rd+PI+Mi, con 18,47, 18,29, 18,13 y 17,61 cm, respectivamente, los cuales no presentaron diferencia significativa entre ellos. Mientras que los tratamientos Control y Mi presentaron menor promedio de altura con 7,57 y 7,18 cm, respectivamente (Figura 9 y 10).

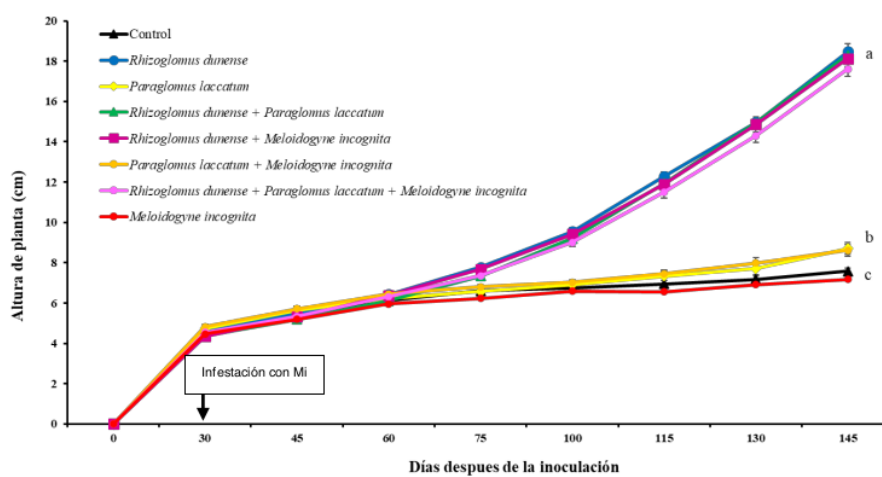
**Tabla 3**

Análisis de varianza de la altura de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	3119,3	1039,8	680,215	< 0,0001 ***
Nematodo	1	3	3	1,989	0,161
HMA:Nematodo	3	1,6	0,5	0,338	0,798
Error	112	171,2	1,5		
Total	119	3295,1			

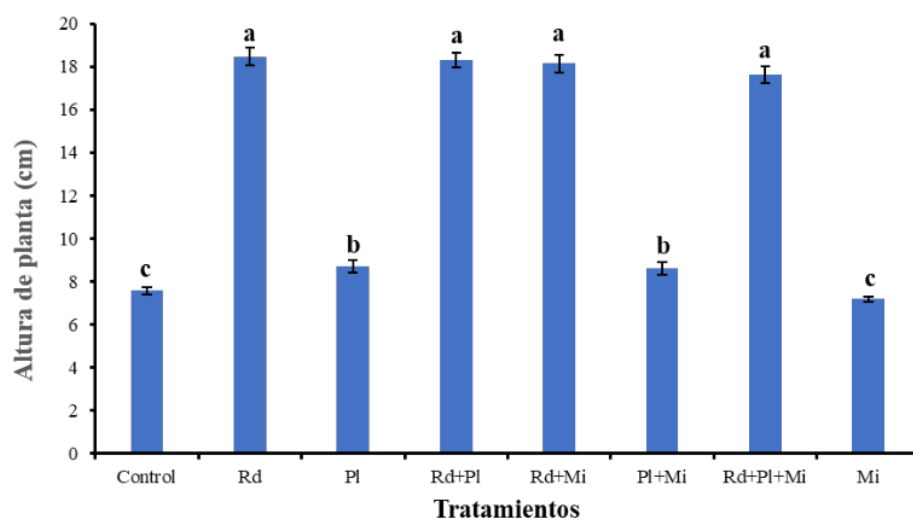
NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 9,5%      R<sup>2</sup>= 93%



**Figura 9.**

<sup>3</sup> Efecto de *Rhizogloium dunense* y *Paragloium laccatum* sobre la altura de plantas de café variedad Caturra infestadas con *Meloidogyne incognita* en mediciones intercaladas de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación.



**Figura 10.**

<sup>1</sup> Comparación de medias de altura de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizogloium dunense* (Rd) y *Paragloium laccatum* (PI) infestadas con *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados muestran la capacidad biofertilizantes de *Rhizoglosum dunense* en las plantas de café variedad Caturra, y además esta misma especie presenta la capacidad bioprotectora frente a *Meloidogyne incognita*, al no presentarse diferencias significativas entre los tratamientos inoculados con esta especie de HMA y los tratamientos con la misma especie de HMA y *Meloidogyne incognita*. El beneficio que se presenta *Rhizoglosum dunense* en estos resultados en la evaluación de la altura de las plantas de café se relaciona a la capacidad que tienen los HMA para realizar simbiosis con las raíces de la planta hospedante, permitiendo una mayor capacidad de absorción de nutrientes resultando en un mayor desarrollo de la planta en comparación de plantas que no presentan esta simbiosis, y todo esto permite que la planta presente un mayor desarrollo vegetativo y fisiológico para defenderse a condiciones adversas como estrés bióticos o abióticos (Lin et al., 2021, Saparrat et al., 2020).

Estos resultados son similares a los reportados por Hernández-Acosta et al. (2020), quienes inocularon HMA a plantas de café, tanto una especie única como fue *Rhizophagus aggregatus* y también en consorcio (*Glomus claroides*, *Rhizophagus diaphanus* y *Paraglosum albidum*), de tal manera obtuvieron mayor altura de plantas de café al inocular la especie sola y en consorcio, en comparación de con sus plantas testigos. Del Aguila et al. (2018), también presenta resultados positivos en la capacidad biofertilizante de los HMA en plantas de café, al inocular nueve consorcios de HMA nativos de la región San Martín, obteniendo mayor altura de las plantas inoculadas en comparación con las no inoculadas, en aproximadamente 10% mayor altura. En la investigación desarrollada por Ibarra-Puón et al. (2014), obtuvieron mayor altura de plantas de café al presentar la inoculación con *Rhizophagus intraradices*, obteniendo diferencia de 6 cm entre las plantas con presencia de HMA y las plantas testigos, a los 140 días posteriores a la inoculación. En el caso de Trejo et al. (2011), obtuvieron una gran diferencia de altura de plantas de café, al presentar plantas de café superiores a los controles en un 91% con respecto a sus alturas. Todas estas investigaciones muestran la capacidad biofertilizante de los HMA en las plantas de café, pero todo ello sucede a partir de la inoculación de estos microorganismos en su etapa inicial de desarrollo, permitiendo que se desarrolle una simbiosis entre el microorganismo y la parte radicular de la planta.

En relación con el efecto bioprotector de los HMA se evidencia en los resultados que las plantas inoculadas con *Rhizoglosum dunense* y *Meloidogyne incognita*, no diferencian significativamente con el tratamiento sin la presencia del patógeno. Este resultado es similar a lo reportado por Trejo-Aguilar et al. (2018), quienes empleando siete diferentes consorcios de HMA en plantas de café no presentaron diferencias significativas en las alturas de plantas en presencia o ausencia de nematodos. La capacidad bioprotectora que se le atribuye al HMA es relacionada precisamente con no presentar daños o efectos negativos a la planta en



presencia de un patógeno, presentando el mismo desarrollo vegetativo, y esto se podría deber a que la planta ya presenta una simbiosis con el HMA, estos microorganismos se establecen en las raíces de la planta impidiendo el establecimiento o invasión de cualquier patógeno presente en al rizosfera o en todo caso reduciendo su capacidad invasiva en el tejido radicular de la planta hospedante (Kolawole et al., 2018).

#### b) Diámetro de tallo

El análisis estadístico en el diámetro de tallo de las plantas de café variedad Caturra a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 4). La primera evaluación del número de hojas de las plantas de café en los diferentes tratamientos se realizó a los 30 días posteriores a la inoculación con *Meloidogyne incognita*, pero se observó las diferencias de número de hojas entre tratamientos a los 60 días posteriores a la inoculación. La diferencia de crecimiento del diámetro de tallo en el tiempo se presenta en la Figura 11. Mientras que en la Figura 12 se presenta los resultados de la última evaluación del diámetro de tallo en plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de diámetro de tallo fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 2,9 mm de diámetro de tallo promedio. Mientras que los tratamientos Control, PI, PI+Mi y Mi presentaron menor promedio de diámetro de tallo con 1,73, 1,78, 1,82 y 1,77 mm, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

**Tabla 4**

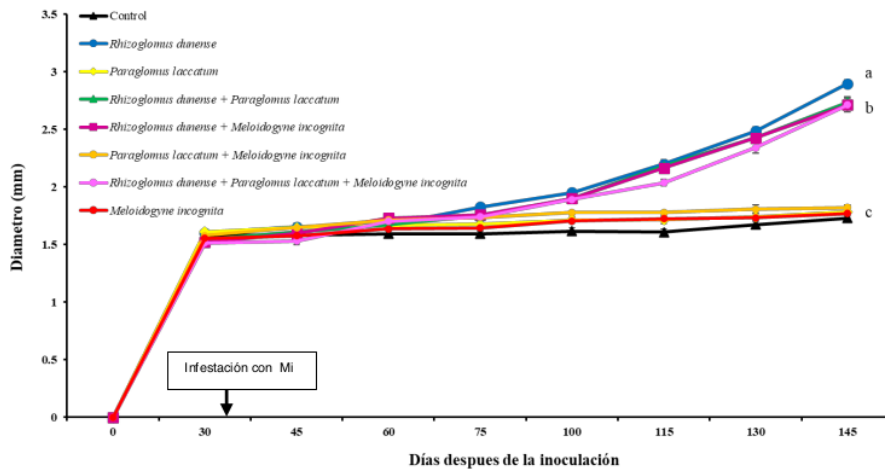
Análisis de varianza del diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	29,391	9,797	407,923	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,034	0,034	1,402	0,2389
HMA:Nematodo	3	0,248	0,083	3,442	0,0193 *
Error	112	2,69	0,024		
Total	119	32,363			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

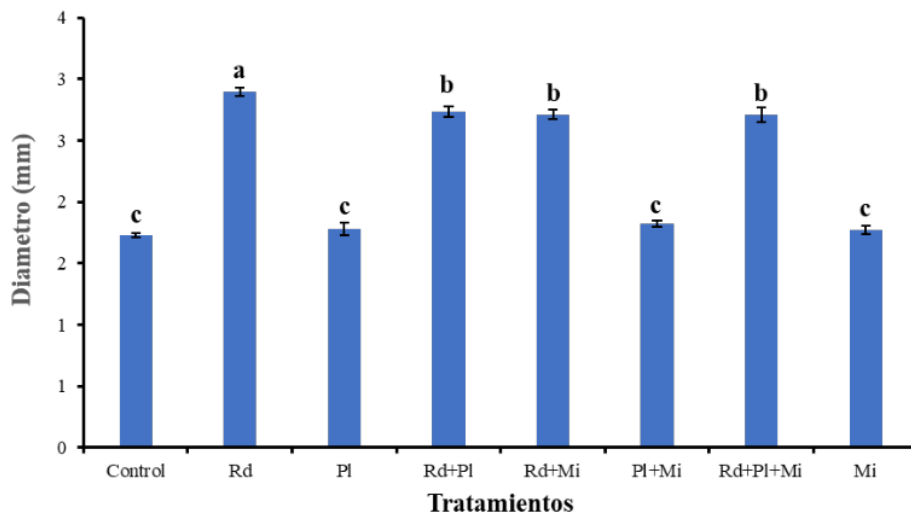
C.V= 6,8%      R<sup>2</sup>= 92%





**Figura 11**

Efecto de *Rhizoglonus dunense* (Rd), *Paraglonus laccatum* (Pl) y *Meloidogyne incognita* (Mi) sobre el diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra, en mediciones intercaladas de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación.



**Figura 12.**

Comparación de medias del diámetro de tallo de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglonus dunense* (Rd), *Paraglonus laccatum* (Pl) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los tratamientos con *Rhizoglyphus dunense* han permitido mayor desarrollo del diámetro de tallo de las plantas de café, eso se puede ver en los resultados que en los tratamientos sin esta especie de HMA el diámetro no difiere con la planta control. Esto permitiría ir demostrando que *Rhizoglyphus dunense* tiene una gran capacidad biofertilizante en plantas de café, al permitir un mayor desarrollo vegetativo, y también se evidencia su capacidad bioprotectora al no presentar una disminución de su desarrollo en presencia de *Meloidogyne incognita*. Mientras que la otra especie de HMA, *Paraglyphus laccatum* no presenta la gran capacidad biofertilizante, al no presentar diferencias con el tratamiento control. Estos resultados concuerdan con otros autores que reportan que los HMA permiten un mayor desarrollo del diámetro de tallos de café, así como el efecto que puede generar los HMA en presencia de *Meloidogyne incognita*. Dentro de estos autores se tiene a Ibarra-Puón et al. (2014), quienes empleando un sustrato de suelo y arena inocularon *Rhizophagus intraradices* a plantas de café, y a los 140 días se evaluaron el diámetro de tallo, sus resultados evidenciaron un mayor diámetro de tallos de plantas de café inoculadas con *Rhizophagus intraradices*, alcanzado los 2,6 mm, mientras que sus plantas controles presentaron un diámetro promedio de 1,7 mm, demostrando la capacidad biofertilizante de *Rhizophagus intraradices* en plantas de café. En el caso de resultados similares a la capacidad bioprotectora, Trejo-Aguilar et al. (2018), obtuvieron mayor diámetro de tallo de planta de café empleando siete diferentes consorcios de HMA con presencia y ausencia de nematodos, demostrando que los HMA permiten que los nematodos no causen daños en relación con el desarrollo de la planta de café.

### c) Número de hojas

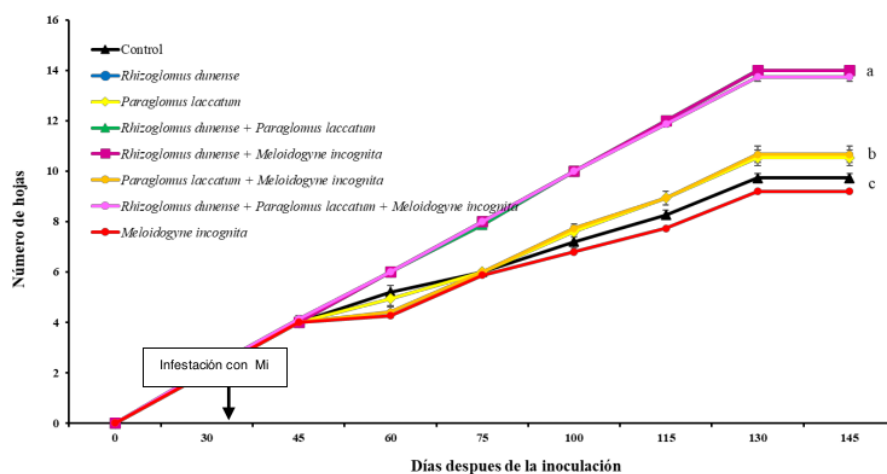
El análisis estadístico en el número de hojas de las plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 5). La primera evaluación del número de hojas de las plantas de café en los diferentes tratamientos se realizó a los 30 días posteriores a la inoculación con *Meloidogyne incognita*, pero se observó las diferencias de número de hojas entre tratamientos a los 75 días posteriores a la inoculación. La diferencia de crecimiento en el tiempo se presenta en la Figura 13. Mientras que en la Figura 14 se presenta los resultados de la última evaluación del número de hojas de plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que los tratamientos con mayor promedio de número de hojas fueron los tratamientos Rd, Rd+PI, Rd+Mi y Rd+PI+Mi, con 14, 14, 14 y 13,73 hojas, respectivamente, los cuales no presentaron diferencia significativa entre ellos. Mientras que los tratamientos Control y Mi presentaron menor promedio de número de hojas con 9,73 y 9,29 hojas, respectivamente.

**1**  
**Tabla 5**

Análisis de varianza del número de hojas de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

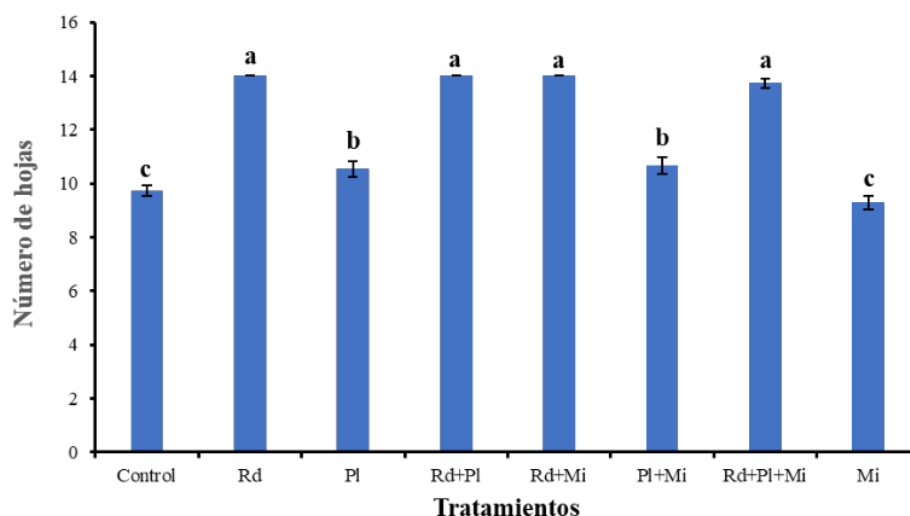
F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	475,8	158,61	256,218	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,8	0,83	1,346	0,248
HMA:Nematodo	3	2	0,66	1,059	0,37
Error	112	69,3	0,62		
Total	119	547,9			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo  
C.V= 6,6%      R<sup>2</sup>= 89%



**Figura 13.**

Efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd), *Paraglopus laccatum* (Pl) y *Meloidogyne incognita* (Mi) <sup>41</sup> sobre el número de hojas de plantas de café variedad Caturra con conteos intercalados de 15 días durante un total de 145 días posterior a la inoculación.



**Figura 14.**

<sup>1</sup> Comparación de medias del número de hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglyphus laccatum* (Pl) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos en el número de hojas presentan la misma tendencia que los resultados de altura de planta, presentando los valores más altos los tratamientos con presencia de *Rhizoglyphus dunense*, tanto en presencia como ausencia de *Meloidogyne incognita*. Por lo tanto, se puede relacionar la capacidad biofertilizante y bioprotectora de *Rhizoglyphus dunense* en el desarrollo vegetativo y más específicamente en este punto para el número de hojas. <sup>29</sup> Estos resultados son similares a los obtenidos por Ibarra-Puón et al., (2014), <sup>49</sup> quienes obtuvieron mayor número de hojas en plantas de café inoculadas con *Rhizophagus intraradices*, su investigación presente variables en sustratos adicionalmente, pero en la mayoría de los sustratos el número de hojas era superior en el tratamiento con HMA en comparación con el control, obteniéndose hasta 11,5 hojas en promedio por planta de café y 9 hojas en promedio por planta de café en el tratamiento control en el sustrato arena y suelo, sustrato de similar composición al utilizado en el desarrollo de esta investigación. Mientras que Trejo-Aguilar et al. (2018), <sup>1</sup> obtuvieron mayor número de hojas empleando siete diferentes consorcios de HMA en plantas de café, y adicionalmente <sup>4</sup> en la misma investigación evaluaron el efecto de los HMA como bioprotectores de plantas de café a nematodos, obteniendo como resultado el mismo número de hojas en plantas con presencia o ausencia de nematodos, llegando a obtener como máximo 60 hojas en promedio a los 180 días de inocular el consorcio de F de HMA.

#### d) Clorofila

El análisis estadístico en el contenido de clorofila en las hojas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 6). En la Figura 15 se presenta los resultados de la evaluación del contenido de clorofila a y b en las hojas de café de todos los tratamientos, indicándose que los tratamientos con mayor promedio de número de hojas fueron los tratamientos Rd, Rd+PI, Rd+Mi y Rd+PI+Mi, con 57,95, 58,59, 56,27 y 56,65 SPAD, respectivamente, los cuales no presentaron diferencia significativa entre ellos. Mientras que los tratamientos Control y Mi presentaron menor promedio de contenido de clorofila en las hojas de café con 25,89 y 26,47 SPAD, respectivamente.

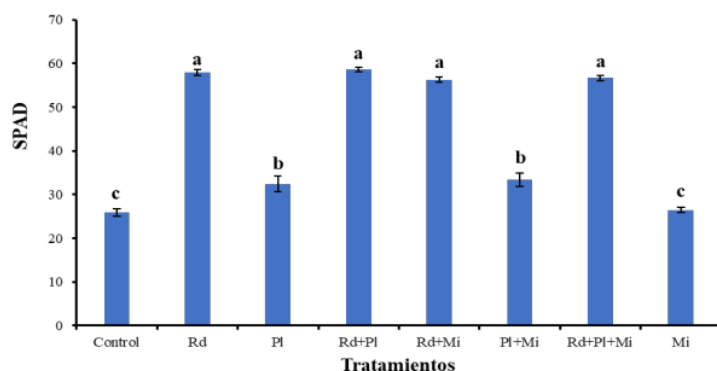
**Tabla 6**

Análisis de varianza del contenido de clorofila en las hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	23795	7932	517,504	< 0,0001 ***
Nematodo	1	8	8	0,478	0,491
HMA:Nematodo	3	50	17	1,1	0,352
Error	112	1702	15		
Total	119	25555			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 9,1%      R<sup>2</sup>= 93%



**Figura 15.**

Comparación de medias en el contenido de clorofila en las hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd), *Paraglopus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

<sup>1</sup> El contenido de clorofila en las hojas de café se vio favorecida en presencia del HMA *Rhizoglyphus dunense*, tanto en presencia como en ausencia de *Meloidogyne incognita*, todo esto permite relacionar a la capacidad de esta especie no solo en el tema biofertilizante para el desarrollo morfológico, si no también que puede influenciar en la fisiología de la planta. Es importante la clorofila en la planta, ya que es un pigmento fotosintético importante para ella, <sup>73</sup> y que determina en gran medida la capacidad fotosintética y, por lo tanto, el crecimiento de la planta (Baker, 2008; Li et al., 2018). Es por ello que es importante determinar el contenido de clorofila, ya que puede servir como indicador del estado de las plantas durante el crecimiento normal y durante el desarrollo de infecciones, así como estrés, actividad fotosintética, trastornos metabólicos, etc. (Młodzińska, 2009; Urbanovich et al., 2021). Y en presencia de los HMA este contenido se ve incrementado, atribuyéndose precisamente a la simbiosis presente entre planta y HMA, permitiendo el incremento de la tasa fotosintética y la conductancia estomática de la planta hospedante (Cruz et al., 2020, Khan et al., 2022). Por tanto, una planta inoculada con HMA puede presentar mayor contenido de clorofila debido a una mejor movilización de iones, un mejor intercambio de carbohidratos y una fotosíntesis acelerada (Weng et al., 2022; Wu et al., 2022). <sup>35</sup> Estos resultados son similares a los obtenidos por Solís et al. (2022), <sup>5</sup> quienes reportan un incremento de contenido de clorofila (unidades SPAD) en plantas de café inoculadas con tres consorcios de HMA nativos de la Región San Martín, este incremento se evidencia comparando el tratamiento sin HMA, este último presente aproximadamente 40 SPAD, mientras que los tratamientos con consorcios de HMA se mantuvieron en un rango de 55-60 SPAD aproximadamente.

#### <sup>15</sup> e) **Peso fresco de la biomasa aérea**

El análisis estadístico del peso fresco de la biomasa aérea de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 7). En la Figura 16 <sup>18</sup> se presenta los resultados de la evaluación del peso fresco de la biomasa aérea de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de peso fresco de la biomasa aérea de café fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 12,62 gramos de peso fresco de la biomasa aérea de café. Los tratamientos Rd+PI, Rd+Mi y Rd+PI+Mi fueron los segundos mejores tratamientos, logrando presentar 11,40, 11,09 y 10,81 gramos de peso fresco de la biomasa aérea de café, es importante señalar que estos tratamientos también contienen *Rhizoglyphus dunense*, lo cual podría representar una importante capacidad de incrementar la masa de la planta, sumado a que en el tratamiento Rd+Mi y Rd+PI+Mi se inoculó *Meloidogyne incognita*, pero a pesar de ello los valores de peso fresco de la biomasa aérea de café se mantiene superiores a los controles. En el otro extremo, los tratamientos Control, PI,



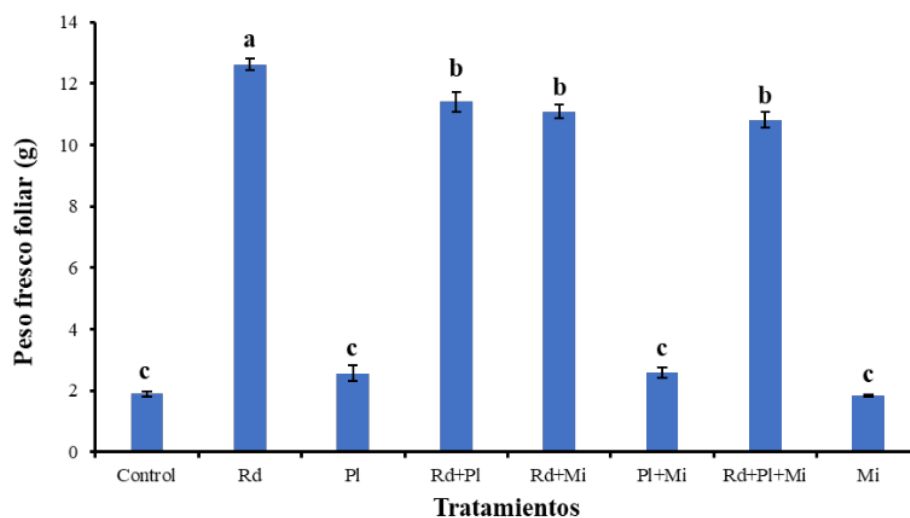
PI+Mi y Mi presentaron menor peso fresco de la biomasa área de café con 1,89, 2,57, 2,59 y 1,84 gramos, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

**Tabla 7**

Análisis de varianza del peso fresco de la biomasa área de café con diferentes tratamientos de *Rhizoglossus dunense*, *Paraglossus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	1552,5	517,5	766,437	< 0,0001 ***
Nematodo	1	5,2	5,2	7,662	0,00737 **
HMA:Nematodo	3	7	2,3	3,445	0,02175 *
Error	64	43,2	0,7		
Total	71	1607,9			

NS = no significativo    \*\* = altamente significativo    \*\*\* = muy altamente significativo  
C.V= 12,0%    R<sup>2</sup>= 97%



**Figura 16.**

Comparación de medias del peso fresco de la biomasa área de café con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglossus dunense* (Rd), *Paraglossus laccatum* (PI) y en nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

25 Los resultados obtenidos en el peso fresco de la biomasa área de café presentan la misma tendencia que los resultados de diámetro de tallo, presentando los valores más altos el tratamiento con presencia de *Rhizoglopus dunense*, y seguido de los tratamientos que también incluyen a esta especie, a pesar de la presencia de *Meloidogyne incognita* en los tratamientos, no influenció en reducir el desarrollo vegetativo de las plantas de café, por lo tanto, no se vio afectado el peso fresco de la biomasa área de café. Esto se puede interpretar como la capacidad biofertilizante y bioprotectora de *Rhizoglopus dunense*, favoreciendo el desarrollo de las plantas de café y evitando el daño por *Meloidogyne incognita*. Estos resultados son similares a los obtenidos por Trejo-Aguilar et al. (2018), quienes obtuvieron mayor peso fresco de la biomasa área de café empleando siete diferentes consorcios de HMA nativas de México, los rangos de peso fresco obtenido con los diferentes consorcios fueron de 9,25 gramos hasta 44,5 gramos, a los 180 días posteriores a la inoculación de consorcios de HMA, así mismo, en la investigación probaron la capacidad bioprotectora de estos consorcios frente a nematodos, no obtuvieron diferencia significativa en el peso fresco de la biomasa área de café en presencia o ausencia de los nematodos, estos resultados los obtuvieron con todos los consorcios.

#### 14 f) **Peso seco de la biomasa aérea**

El análisis estadístico del peso seco de la biomasa área de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 8). En la Figura 17 se presenta los resultados de la evaluación del peso seco de la biomasa área de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de peso seco de la biomasa área de café fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglopus dunense*, obteniendo 2,9 gramos de peso seco de la biomasa área de café. En el otro extremo, los tratamientos Control, PI, PI+Mi y Mi presentaron menor peso seco de la biomasa área de café con 0,47, 0,62, 0,67 y 0,44 gramos, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

Tabla 8

Análisis de varianza del peso seco de la biomasa área de café variedad caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	79,41	26,47	726,417	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,31	0,307	8,42	0,00508 **
HMA:Nematodo	3	0,42	0,14	3,829	0,01380 *
Error	64	2,33	0,036		
Total	71	82,47			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 11,9%      R<sup>2</sup>= 97%

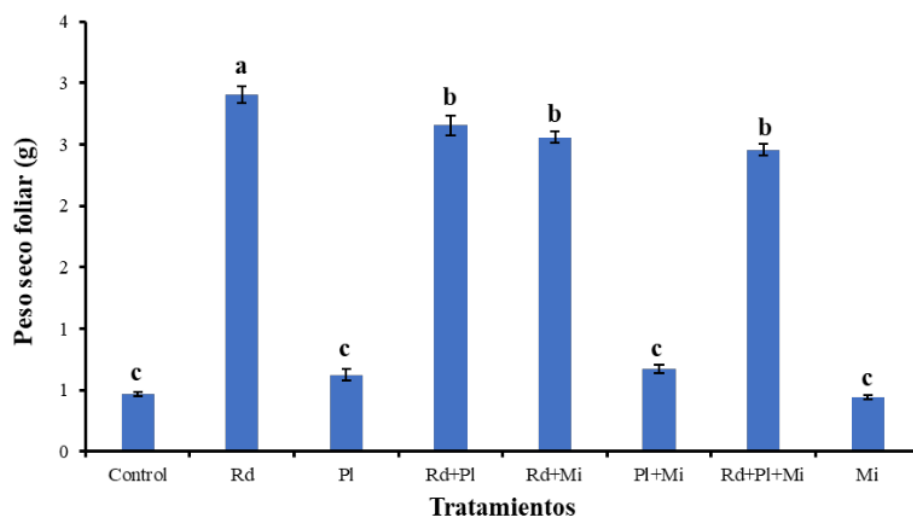


Figura 17.

Comparación de medias del peso seco de la biomasa área de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd), *Paraglopus laccatum* (Pl) y el nematodo *Meloidogyne incognita* a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos en el peso seco de la biomasa área de café presentan la misma tendencia que los resultados de en el peso fresca de la biomasa área, presentando los valores más altos el tratamiento con presencia de *Rhizoglopus dunense*, y seguido de los tratamientos que también incluyen a esta especie, a pesar de la presencia de *Meloidogyne incognita* en los tratamientos, no influenció en reducir el desarrollo vegetativo de las plantas de café, por lo tanto, no se vio afectado el peso seco de la biomasa área de café. Esto se

puede interpretar como la capacidad biofertilizante y bioprotectora de *Rhizoglyphus dunense*, favoreciendo el desarrollo de las plantas de café y evitando el daño por *Meloidogyne incognita*. Estos resultados son similares a los obtenidos por Del Águila (2016), quien realizó la inoculación consorcios de HMA nativos de la región San Martín en plántulas de café, obteniendo como resultado final peso seco de la biomasa área 2,7 gramos con el consorcio de Buena Vista, mientras que su tratamiento control presentó 0,89 gramos de peso seco de la biomasa área. Otra de las investigaciones que presentó resultados similares fueron Ibarra-Puón et al. (2014), quienes obtuvieron un mayor peso seco de la biomasa área de café, al inocular a sus plantas de café con el HMA *Rhizophagus intraradices*, en comparación a sus plantas controles, las cuales solo presentaron 0,6 gramos de hojas y 0,2 gramos de tallo, sumando un total de 0,8 gramos de peso seco de la biomasa área de café, mientras que las plantas de café inoculadas con *Rhizophagus intraradices* presentaron 1,7 gramos de hojas y 0,6 gramos de tallo, con un total de 2,3 gramos de peso seco de la biomasa área de café, siendo resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación, considerando que dichos autores obtuvieron ese peso fresco de la biomasa área de café a los 140 días, mientras que la presente tesis obtuvo 2,9 gramos a los 145 días del inóculo de *Rhizoglyphus dunense*.

En el caso del efecto biofertilizando y bioprotector Trejo-Aguilar et al. (2018), obtuvieron resultados superiores para la capacidad biofertilizando, al obtener mayor peso seco de la biomasa área de café empleando siete diferentes consorcios de HMA, los rangos de peso fresco obtenido con los diferentes consorcios fueron de 3,45 gramos hasta 9,42 gramos, a los 180 días posteriores a la inoculación de consorcios de HMA, así mismo, en la investigación probaron la capacidad bioprotectora de estos consorcios frente a nematodos, no obtuvieron diferencia significativa en el peso seco de la biomasa área de café en presencia o ausencia de los nematodos, estos resultados los obtuvieron con todos los consorcios. En el caso de Chinchay (2016) empleo nueve consorcios de HMA nativos de la región San Martín en busca de reducir el daño de nematodos en café, de tal manera con el consorcio de Olivos obtuvo 12,05 gramos de peso seco de la biomasa área de café a los 90 días posterior a la inoculación, mientras que su control absoluto presentó 7,14 gramos y su control infestado de nematodos presentó 6,35 gramos.

#### g) **Peso fresco de la raíz**

El análisis estadístico del peso fresco de la raíz de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 9). En la Figura 18 se presenta los resultados de la evaluación del peso fresco de la raíz área de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de peso fresco de la biomasa área de café fue el tratamiento Rd,

tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 5,06 gramos de peso fresco de la raíz de café. Los tratamientos Rd+PI, Rd+Mi y Rd+PI+Mi fueron los segundos mejores tratamientos, logrando presentar 3,99, 4,20 y 4,01 gramos de peso fresco de la raíz de café, es importante señalar que estos tratamientos también contienen *Rhizoglyphus dunense*, lo cual podría representar una importante capacidad de incrementar la masa de la planta, sumado a que en el tratamiento Rd+Mi y Rd+PI+Mi se inoculó *Meloidogyne incognita*, pero a pesar de ello los valores de peso fresco de la raíz de café se mantiene superiores a los controles. En el otro extremo, los tratamientos Control, PI, PI+Mi y Mi presentaron menor peso fresco de la biomasa área de café con 0,72, 1,02, 1,20 y 0,69 gramos, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

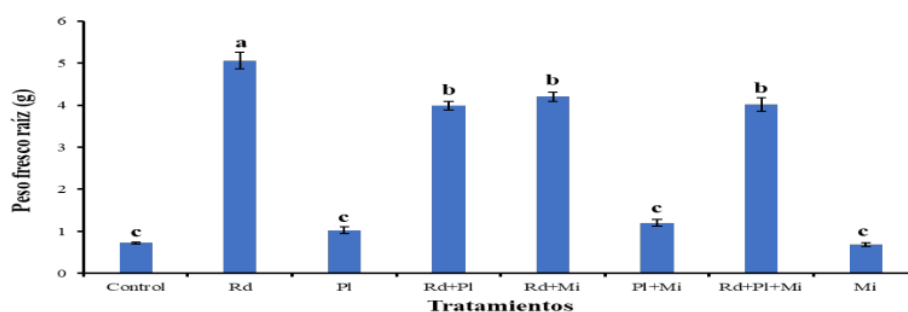
**Tabla 9**

Análisis de varianza del peso fresco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglomus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	213,79	71,26	374,45	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,53	0,53	0,53	0,09883
HMA:Nematodo	3	2,91	0,97	5,096	0,00317 **
Error	64	12,18	0,19		
Total	71	229,41			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 12,7%      R<sup>2</sup>= 95%



**Figura 18.**

Comparación de medias del peso fresco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglomus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos en el peso fresco de la raíz de café presentan la misma tendencia que los resultados del peso fresco de la biomasa área de café, presentando los valores más altos el tratamiento con presencia de *Rhizoglyphus dunense*, y seguido de los tratamientos que también incluyen a esta especie, a pesar de la presencia de *Meloidogyne incognita* en los tratamientos, no influyó en reducir el desarrollo vegetativo de las plantas de café, por lo tanto, no se vio afectado el peso fresco de la raíz. Esto se puede interpretar como la capacidad biofertilizante y bioprotectora de *Rhizoglyphus dunense*, favoreciendo el desarrollo de las plantas de café y evitando el daño por *Meloidogyne incognita*. Estos resultados son similares a los obtenidos por Trejo-Aguilar et al. (2018), quienes obtuvieron mayor peso fresco de la biomasa área de café empleando siete diferentes consorcios de HMA nativas de México, los rangos de peso fresco obtenido con los diferentes consorcios fueron de 3,03 gramos hasta 34,66 gramos, a los 180 días posteriores a la inoculación de consorcios de HMA, así mismo, en la investigación probaron la capacidad bioprotectora de estos consorcios frente a nematodos, no obtuvieron diferencia significativa en el peso fresco de la biomasa área de café en presencia o ausencia de los nematodos, estos resultados los obtuvieron con todos los consorcios. Este efecto, de mayor crecimiento radicular y por ende mayor biomasa radicular, que ejercen los HMA en las plantas hospederas es debido a que estos microorganismos permiten a la planta una mayor absorción de nutrientes, por lo tanto, la planta al encontrarse más nutrida le permite incrementar su desarrollo vegetativo incluyendo mayor crecimiento radicular, que se refleja como en este trabajo en una mayor biomasa radicular, lo cual también se divide por razones propias del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces y que precisamente las HMA benefician al desarrollo de raíces pivotantes, conllevando a una mayor ramificación radicular para la captura de nutrientes (Begum et al., 2019; Weng et al., 2022).

#### h) **Peso seco de la raíz**

El análisis estadístico del peso seco de la raíz de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 10). En la Figura 19 se presenta los resultados de la evaluación del peso seco de la raíz de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de peso seco de la raíz de café fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 1,16 gramos de peso seco de la raíz de café. Mientras que los tratamientos Control y Mi presentaron menor peso seco de la raíz de café con 0,20 y 0,19, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

Los resultados obtenidos en el peso seco de la raíz de café presentan los valores más altos en el tratamiento con presencia de *Rhizoglyphus dunense*, y seguido de los tratamientos que



también incluyen a esta especie, a pesar de la presencia de *Meloidogyne incognita* en los tratamientos, no influenció en reducir el desarrollo vegetativo de las plantas de café, por lo tanto, no se vio afectado el peso seco de la raíz de café. Esto se puede interpretar como la capacidad biofertilizante y bioprotectora de *Rhizoglyphus dunense*, favoreciendo el desarrollo de las plantas de café y evitando el daño por *Meloidogyne incognita*. Estos resultados relacionados al efecto biofertilizando son similares a los reportados por Del Águila (2016) quien realizó la inoculación consorcios de HMA nativos de la región San Martín en plántulas de café, obteniendo 0,83 gramos de peso seco de la raíz de café con el inóculo del consorcio de HMA Olivos, en cuanto para planta control obtuvo 0,27 gramos de peso seco de la raíz, en cuanto a comparación se puede considerar sus resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación empleando *Rhizoglyphus dunense* como inóculo. El efecto biofertilizando de las HMA también fue reportado por Ibarra-Puón et al. (2014), quienes obtuvieron un mayor peso seco de la raíz de café, al inocular a sus plantas de café con el HMA *Rhizophagus intraradices*, en comparación a sus plantas controles, las cuales solo presentaron 0.15 gramos de peso seco de la raíz, mientras que las plantas de café inoculadas con *Rhizophagus intraradices* presentaron 0,37 gramos de peso seco de la raíz, siendo resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación en un tiempo similar de evaluación posterior a la inoculación de HMA.

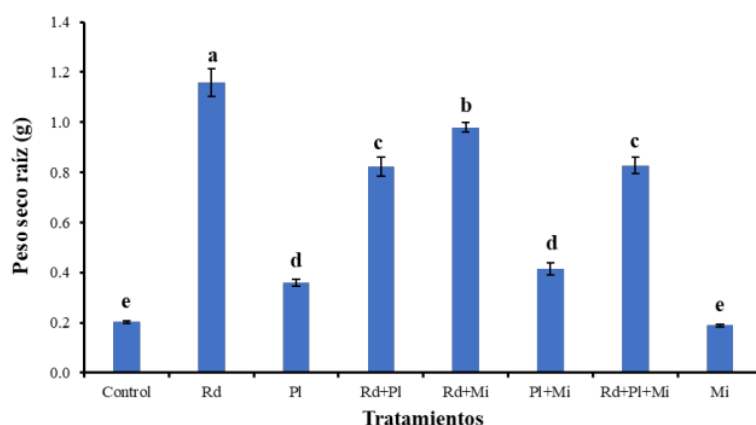
**Tabla 10**

Análisis de varianza del peso seco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglomus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	8,616	2,8721	221,681	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,019	0,0193	1,493	0,2263
HMA:Nematodo	3	0,139	0,0465	3,589	0,0183 *
Error	64	0,829	0,013		
Total	71	9,603			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 8,4%      R<sup>2</sup>= 91%



**Figura 19.**

Comparación de medias del peso seco de la raíz de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglyphus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

En el caso del efecto bioprotector se reportando dos investigaciones que evalúan el efecto de los HMA en presencia de nematodos. Es así como Trejo-Aguilar et al. (2018), en su evaluación del efecto biofertilizante de siete consorcios de HMA obtuvieron resultados superiores en peso seco de la raíz de café a los reportados en la presente investigación, de esta manera obtuvieron rangos de peso seco de raíz de 0,65 gramos hasta 9,48 gramos con los diferentes consorcios evaluados a los 180 días posteriores a la inoculación, así mismo, en la misma investigación evaluaron el efecto bioprotector de estos consorcios frente a nematodos, sin obtener diferencia significativa en el peso seco de la raíz de café en presencia o ausencia de los nematodos, resultados que fueron similares en todos los consorcios. En el caso de Chinchay (2016) también obtuvo resultados superiores empleando nueve consorcios de HMA nativos de la región San Martín en busca de reducir el daño de nematodos en café, de tal manera con el consorcio de Olivos obtuvo 3,24 gramos de peso seco de la raíz de café a los 90 días posterior a la inoculación, mientras que su control absoluto presentó 1,27 gramos y su control inoculado con nematodos presentó 1,45 gramos.

Todo esto demuestra la capacidad biofertilizante y bioprotectora de los HMA en biomasa radicular de las plantas de café, ya que estos microorganismos permiten un mayor desarrollo de la biomasa de la planta hospedera, este mayor desarrollo radicular se evidencia presentando mayor peso seco, el cual es el órgano diana u objetivo de la planta para los patógenos, en este caso para los nematodos, y al encontrarse bien desarrollado y en

presencia de la colonización micorrícica se disminuye la capacidad invasiva de los patógenos presentes en la rizosfera (Qin et al., 2021; Chandrasekaran, 2022).

### i) Área foliar

El análisis estadístico del área foliar de las plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 11). En la Figura 20 se presenta los resultados de la evaluación del área foliar de las plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de área foliar fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 486,81 cm<sup>2</sup> de área foliar. Mientras que los tratamientos Control, PI, PI+Mi y Mi presentaron menor peso fresco de la biomasa área de café con 77,39, 103,64, 119,08 y 76,13 cm<sup>2</sup>, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

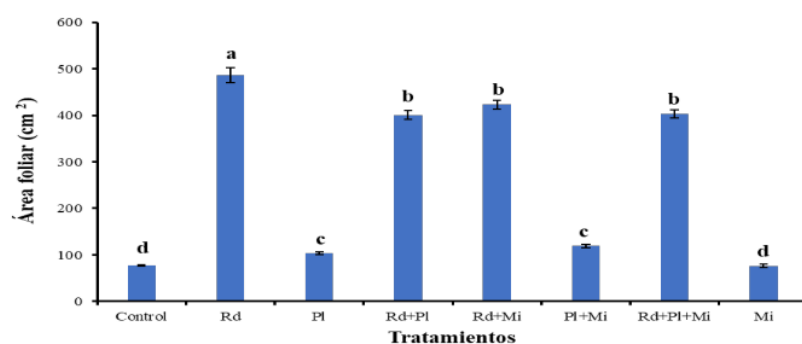
**Tabla 11**

Análisis de varianza del área foliar de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglomus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	2046302	682101	641,376	< 0,0001 ***
Nematodo	1	2500	2500	2,351	0,13016
HMA:Nematodo	3	17022	5674	5,335	0,00241 **
Error	64	68064	1063		
Total	71				

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 12,5%      R<sup>2</sup>= 97%



**Figura 20.**

Comparación de medias del área foliar de plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglomus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los mayores valores de <sup>1</sup> área foliar de plantas de café obtenidos con el tratamiento T4 (*Rhizoglossus dunense*) presenta la misma tendencia en el contenido de clorofila, <sup>1</sup> peso fresco de la biomasa área de café y peso seco de la raíz de café, esto podría reaccionarse y todo señalaría a que este HMA tiene una alta capacidad biofertilizante, observándose en el desarrollo <sup>1</sup> de las plantas de café que fueron inoculadas con esta especie. Estos resultados relacionan el desarrollo de la planta de café inoculadas con *Rhizoglossus dunense*, debido a que esta HMA primeramente permite un mayor desarrollo radicular por la propia colonización de estos microorganismos, que a la vez permiten una mayor captación de nutrientes del suelo y con ella la planta incrementa su desarrollo <sup>3</sup> aéreo, lo que representa mayor capacidad fotosintética, biomasa área y área foliar (Begum et al., 2019; Weng et al., 2022).

Estos resultados relacionados al efecto biofertilizando son similares a los reportados por Del Águila (2016), quien realizó la inoculación consorcios de HMA nativos <sup>4</sup> de la región San Martín en plántulas de café, obteniendo 445,75 cm<sup>2</sup> de área foliar de café con el inóculo del consorcio de HMA Buena Vista, en cuanto para planta control obtuvo 137,37 cm<sup>2</sup> de área foliar, en cuanto a comparación se puede considerar sus <sup>4</sup> resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación empleando *Rhizoglossus dunense* como inóculo. El efecto biofertilizando de las HMA también fue reportado también por Ibarra-Puón et al., (2014), quienes obtuvieron un mayor área foliar de café, al inocular a sus plantas de café con el HMA *Rhizophagus intraradices*, en comparación a sus plantas controles, las cuales solo presentaron 136,2 cm<sup>2</sup> <sup>4</sup> de área foliar, mientras que las plantas de café inoculadas con *Rhizophagus intraradices* presentaron 371,4 cm<sup>2</sup> de área foliar, siendo <sup>4</sup> resultados inferiores a los obtenidos en la presente investigación en un tiempo similar de evaluación posterior a la inoculación de HMA.

<sup>51</sup> En el caso de Trejo-Aguilar et al. (2018), evaluaron el efecto biofertilizando de siete consorcios de HMA, obteniendo resultados superiores en área foliar de café a los reportados en la presente investigación, con rangos de área foliar de 419,9 cm<sup>2</sup> hasta 1610,2 cm<sup>2</sup> con los diferentes consorcios evaluados a los 180 días posteriores a la inoculación, así mismo, en la misma investigación evaluaron el efecto bioprotector de estos consorcios frente a nematodos, sin obtener diferencia significativa en el <sup>1</sup> área foliar de las plantas de café en presencia o ausencia de los nematodos, resultados que fueron similares en todos los consorcios. En el caso de Chinchay (2016) también <sup>36</sup> obtuvo resultados superiores de área foliar empleando nueve consorcios de HMA nativos de la región San Martín en busca de reducir el daño de nematodos en café, de tal manera con el consorcio de Olivos obtuvo 1408,36 cm<sup>2</sup> de área foliar a los 90 días posterior a la inoculación, mientras que su control absoluto presento 940,68 cm<sup>2</sup> de área foliar y su control inoculado con nematodos presento 836,12 cm<sup>2</sup> de área foliar.

### j) Porcentaje de colonización micorrícica

El análisis estadístico del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 12). En la Figura 21 se presenta los resultados de la evaluación del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor promedio de área foliar fue el tratamiento Rd+PI, tratamiento de café con ambas especies de HMA, *Rhizogloium dunense* y *Paragloium laccatum*, obteniendo 85% de colonización. Mientras que los tratamientos PI y PI+Mi (Sin contar con los tratamientos controles) presentaron menor porcentaje de colonización con 16% y 14%, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

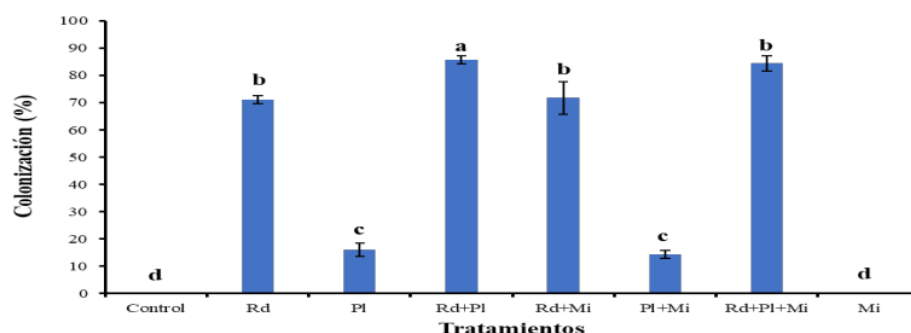
**Tabla 12**

Análisis de varianza del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizogloium dunense*, *Paragloium laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	31139	10380	492,243	< 0,0001 ***
Nematodo	1	2	2	0,097	0,76
HMA:Nematodo	3	5	2	0,077	0,971
Error	16	337	21		
Total	23	31483			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 10,7%      R<sup>2</sup>= 98%



**Figura 21.**

Comparación de medias del porcentaje de colonización de los HMA en las raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizogloium dunense* (Rd), *Paragloium laccatum* (PI) y el nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.



Los mayores porcentajes de colonización están presentes en los tratamientos que presentan mayor desarrollo vegetativo, mientras que el menor porcentaje de colonización estuvo en ambos tratamientos donde se encontraba la especie *Paraglomus laccatum* sola, esto permite interpretar que la poca colonización realizada por esta especie de HMA se relaciona con el bajo o nulo y el efecto positivo en el desarrollo vegetativo de las plantas de café. Caso contrario se pudo apreciar en los tratamientos que *Rhizoglomus dunense* estuvo presente, incrementando significativamente cada aspecto del desarrollo vegetativo evaluado. La razón que podría deberse a que la colonización de las raíces por parte de las HMA y, por lo tanto, la formación de la asociación planta-HMA está determinada por factores bióticos y abióticos, como pueden ser la temperatura, la humedad relativa, pH del suelo, tipo de suelo, entre otros factores que puede variar con relación a su influencia para colonizar la planta para cada género o incluso especie de HMA (Torrecillas et al., 2012). Esto podría relacionarse con la baja colonización de *Paraglomus laccatum*, así como la posible diferencia en la estrategia de colonización de esta especie (Maherali y Klironomos, 2007). También se debe considerar la posibilidad de respuesta de la planta frente a la interacción a diferentes especies de HMA, debido a las diferentes características que pueden presentar los HMA (Ramirez-Viga et al., 2018). Ya que existen reportes que las interacciones planta-HMA no siempre son positivas, sino que varían de positivas a neutrales e incluso negativas (Pankova et al., 2018; Neuenkamp et al., 2019). Adicionalmente, aunque los HMA generalmente no se caracterizan por ser específicos de una especie vegetal, las especies de HMA pueden mostrar preferencias de colonización a plantas específicas (Zhang et al., 2014).

Los resultados obtenidos también son reportados por en otras investigaciones, en el caso de las desarrollas en vivero se han reportado resultados inferiores a los obtenidos en esta investigación en el porcentaje de colonización, tal es el caso de Del Águila (2016), que empleando nueve consorcios de HMA nativos de la región San Martín en plántulas de café, solo obtuvo 30% como máximo porcentaje de colonización micorrícica con el consorcio Aviación. De igual manera Chinchay (2016), presenta resultados inferiores, obtenido como máximo 29,3% colonización micorrícica en platas de café a los 90 días posterior a la inoculación de HMA con el consorcio nativo Aviación de la región San Martín. Espinoza (2018), también obtuvo resultados inferiores en comparación con los obtenidos en esta investigación, el cual obtuvo como máximo 28,5% colonización micorrícica en platas de café empleando un consorcio de HMA denominado MO-cat, consorcio que presentaba cinco especies del género Acaulospora y tres especies del género Glomus. Además, los resultados obtenidos se encuentran en el rango de porcentaje de colonización reportados en evaluaciones en plantaciones de café en la región de San Martín, presentándose porcentajes máximos reportados por Rengifo (2020) con 90%, y Díaz (2022) con 82,8%.



En importante relacionar <sup>19</sup> la capacidad de los HMA para colonizar las raíces de las plantas y de esta manera formar la asociación planta-HMA, la cual permitirá una mayor <sup>1</sup> absorción de nutrientes a la planta, y eso se podrá reflejar en un mayor desarrollo vegetativo. Pero para que dé lugar todo dicho acontecimiento en la rizosfera es necesario que se determine los aspectos ambientales mientras se desarrolla esta interacción, es así como durante el desarrollo de la investigación se realizó periódicamente la evaluación meteorológica en el área de investigación, y estos resultados se detallan en la Tabla 13. Obteniéndose los datos mínimos, máximos y el promedio de la temperatura y humedad relativa durante toda la investigación. <sup>14</sup> La temperatura promedio fue de 29,6° C y la humedad relativa fue 68,9%, estos parámetros permitieron una buena colonización micorrícica de la especie *Rhizoglosum dunense* o en todo caso no presentar una influencia negativa en la formación de la asociación planta-HMA, pero en el caso de *Paraglosum laccatum* no se logró alcanzar el 20% de colonización estando en las mismas condiciones que la otra especie.

**Tabla 13**

Datos meteorológicos durante el desarrollo del experimento de plantas de café variedad Caturra inoculadas con *Rhizoglosum dunense*, *Paraglosum laccatum* y *Meloidogyne incognita* a durante 145 días.

Evaluación	Temperatura (° C)	Humedad (%)
Mínima	22,6	46
Máxima	35,9	95,1
Promedio	29,6	68,9

Se reporta que las condiciones climáticas influyen en la capacidad de <sup>52</sup> adaptación de los HMA, y por ende su capacidad de colonización radical puede verse limitada por las variables climáticas (Barrios, 2017). Además, se presentan reportes que la colonización de los HMA presenta una correlación directa con la precipitación y la temperatura, demostrándose que a temperaturas mayores de 20° C y menores al 70% de humedad relativa puede permitir mayor colonización radicular (Fitter <sup>47</sup> et al., 2000; Augé et al., 2015; Zhang et al., 2016). Sin embargo, las respuestas de los HMA a un aumento o una disminución de la temperatura y humedad relativa varían según la especie de la planta (Heinemeyer y Fitter, 2004). Por lo que se considera que los HMA podría tolerar un amplio rango de temperaturas, debido a que estos hongos tienen la capacidad de producir trehalosa, que es un carbohidrato soluble endógeno fúngico que <sup>31</sup> está presente en las esporas, cuerpos fructíferos y células vegetativas como las <sup>31</sup> hifas (Jerbi et al., 2020). La trehalosa se agota rápidamente después de la germinación y se usa en el metabolismo fúngico central y en respuesta a estrés ambiental específico, por lo tanto, es muy importante para la supervivencia y germinación de las estructuras fúngicas,

además de que protege a las células en condiciones de estrés como el calor (Lenoir et al., 2016).

El efecto de la temperatura sobre los HMA micorrizas difiere entre la diferenciación ecotípica y los taxones de HMA, y también se debe considerar que los cambios en la precipitación podrían afectar a las comunidades de HMA con relación a su capacidad de adaptación y con ello la colonización de la planta. Por lo tanto, la temperatura y humedad relativa óptima para la colonización y desarrollo de los HMA difieren entre especies (Gavito et al., 2005; Hawkes et al., 2011; Cregger et al., 2012). En este sentido, para el caso de *Rhizoglyphus dunense* se podría indicar como una especie de HMA apropiada para el cultivo de café, al presentar una alta capacidad biofertilizante y sobre todo por ser un inóculo nativo presenta una fisiología y genética adaptada a las condiciones del ambiente de esta región y del huésped nativo (de Oliveira et al., 2017).

#### k) Análisis de NPK

##### Nitrógeno (N)

El análisis estadístico del contenido de nitrógeno en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 14). En la Figura 22 se presenta los resultados de la evaluación del contenido de nitrógeno en plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor contenido de nitrógeno fue el tratamiento Rd, con 357,3 mg/kg, este tratamiento presenta al cultivo de café inoculado con la especie de HMA *Rhizoglyphus dunense*.

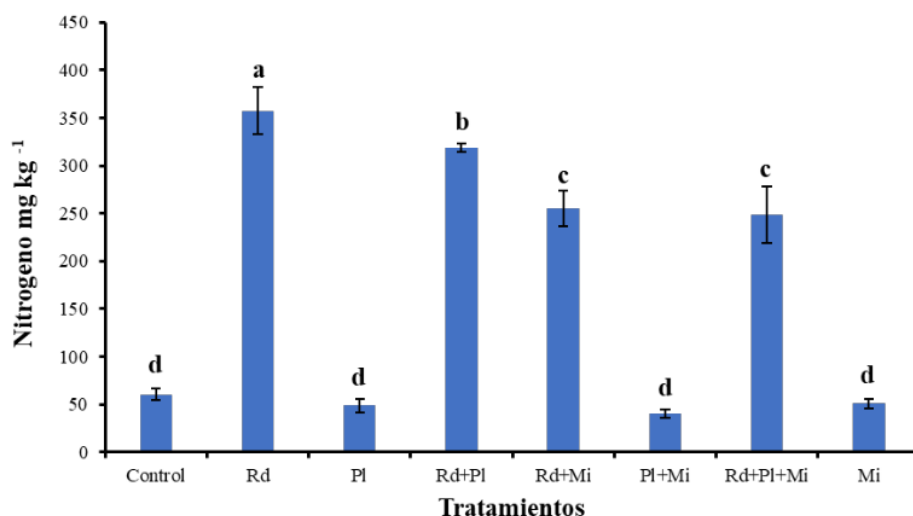
**Tabla 14**

Análisis de varianza del contenido de nitrógeno en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglyphus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	360550	120183	163,355	< 0,0001 ***
Nematodo	1	13623	13623	18,517	0,0005 ***
HMA:Nematodo	3	9709	3236	4,399	0,0194 *
Error	16	11772	736		
Total	23	395654			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 15,7%      R<sup>2</sup>= 98%



**Figura 22.**

Comparación de medias del contenido de nitrógeno en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglyphus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

### Fósforo (P)

El análisis estadístico del contenido de fósforo en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 15). En la Figura 23 se presenta los resultados de la evaluación del contenido de fósforo en plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que el tratamiento con mayor contenido de fósforo fue el tratamiento Rd, tratamiento de café con *Rhizoglyphus dunense*, obteniendo 9,33 mg/kg de fósforo en promedio por planta. Los segundos mejores tratamientos corresponden a los tratamientos Rd+PI y Rd+Mi, tratamientos que presentan también a la especie de HMA *Rhizoglyphus dunense*, obteniéndose 7,95 y 7,96 mg/kg de fósforo en promedio por planta, respectivamente. Mientras que los tratamientos Control, PI y Mi presentaron menor contenido de fósforo en plantas de café con 0,42, 0,38 y 0,49 mg/kg de fósforo en promedio por planta, respectivamente, y no difiriendo estadísticamente entre ellos.

Tabla 15

1 **Análisis de varianza del contenido de fósforo en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.**

2 F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	280.36	93.45	168.659	< 0.0001 ***
Nematodo	1	10	10	0.007	0.933523
HMA:Nematodo	3	22.01	7.34	13.242	< 0.0001 ***
Error	16	8.87	0.55		
3 Total	23	321.24			
NS = no significativo		** = altamente significativo		*** = muy altamente significativo	
C.V= 16,4%				R <sup>2</sup> = 98%	

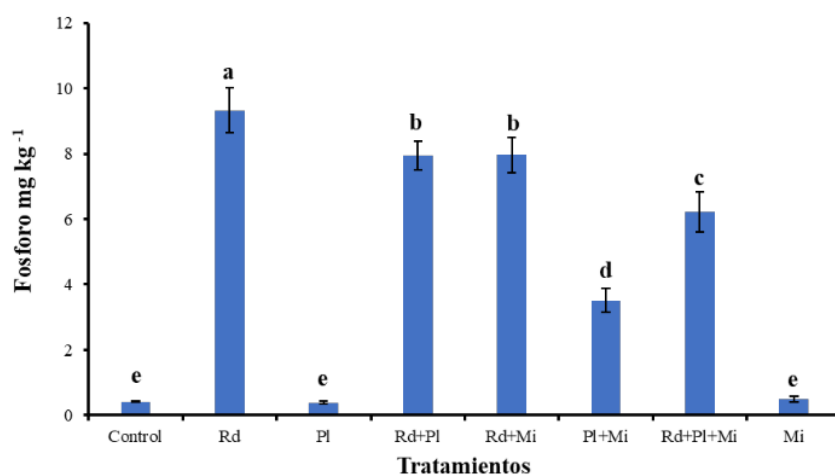


Figura 23.

1 Comparación de medias del contenido de fósforo en plantas de café variedad Caturra con diferentes 2 **tratamientos** para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd) y *Paraglopus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (MI) a los 145 días posterior a la inoculación.

### Potasio (K)

5 El análisis estadístico del contenido de potasio en plantas de café a los 145 días 7 posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el 11 análisis de varianza (Tabla 16). En la Figura 24 se presenta los resultados de la evaluación del contenido de potasio en plantas de café de todos los tratamientos, indicándose que los tratamientos con mayor contenido de potasio fueron los tratamientos Rd y Rd+PI, con 250,14

y 231,03 mg/kg, ambos tratamientos presentan al cultivo de café inoculado con la especie de HMA *Rhizoglyphus dunense*.

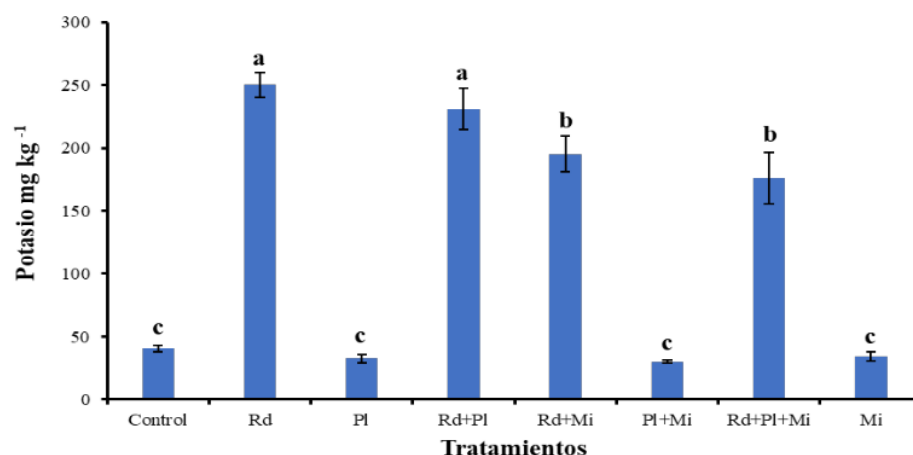
**Tabla 16**

**1** Análisis de varianza del contenido de potasio en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense*, *Paraglomus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

<b>2</b> F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	192775	64258	170,759	< 0,0001 ***
Nematodo	1	5333	5333	14,172	0,00169 **
HMA:Nematodo	3	3834	1278	3,396	0,04371 *
Error	16	6021	376		
Total	23	207963			

**3** NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 15,7%      R<sup>2</sup>= 98%



**Figura 24.**

**1** Comparación de medias del contenido de potasio en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglomus laccatum* (PI) y el *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

En los resultados obtenidos del análisis de NPK se presentan mayores valores en los **6** tratamientos que fueron inoculados con la especie de HMA *Rhizoglyphus dunense*, tanto individualmente como en conjunto con la especie *Paraglomus laccatum*, pero evidenciándose que el efecto es ejercido por la primera especie de HMA. El contenido de nitrógeno en una planta se ve relacionada con el número de hojas, debido a que las hojas son el principal sitio

de actividad del nitrato reductasa en las plantas, por lo tanto, plantas con mayor contenido de nitrógeno presentan mayor número de hojas, caso contrario con las plantas con menor contenido de nitrógeno, aparecen con un número cada vez menor de hojas y senescencia prematura (Spiertz & De Vos, 1983; Bellaloui & Pilbeam, 1990). Esto se ve reflejado en el presente trabajo con el número de hojas y el área foliar, precisamente los tratamientos con *Rhizoglyphus dunense* fueron los tratamientos con mayor contenido de nitrógeno. Además, el nitrógeno presenta una fuerte correlación con el rendimiento fotosintético, que está representado por el contenido de clorofila, esto se debe a que el nitrógeno es uno de los principales componentes de la clorofila, las enzimas relacionadas con la fotosíntesis, las proteínas del fotosistema y otras proteínas localizadas en las membranas de los cloroplastos (Pilbeam, 2018; Evans & Clarke, 2019). Esto permite una mejor interpretación de los resultados obtenidos en el contenido de clorofila, que precisamente los valores más altos fueron obtenidos en inoculados con los tratamientos con *Rhizoglyphus dunense*, por la razón que está especie de HMA permitió mayor absorción de nitrógeno.

Es importante precisar como permiten los HMA mayor absorción de nitrógeno a las plantas, esto es debido a que los HMA son capaces de absorber y transferir una gran cantidad de formas orgánicas de nitrógeno, por ejemplo, aminoácidos libres (glutamina, ácido aspártico, arginina, prolina) o péptidos pequeños a sus huéspedes (Whiteside et al., 2012). Una vez que el nitrógeno se ha transferido al citoplasma fúngico, se transloca a las hifas intrarradicales a través de una vacuola y el amonio se libera en el compartimento apoplásico, y en el caso de la captación de nitrato por los HMA, posteriormente se convierte en amonio mediante varias reacciones enzimáticas (Belmondo et al., 2014). En contra parte, en las plantas no micorrizadas, la reducción de nitrato ocurre principalmente en las hojas, mientras que en las plantas micorrizadas ocurre principalmente en las raíces (Govindarajulu et al., 2005). Representando aún más los roles considerables que juega la asociación planta-HMA para la asimilación de nitrógeno en las plantas y estableciendo al micelio de los HMA como un suministro de nitrógeno considerable para sí mismo y para la planta micorrizadas (Balestrini et al., 2015).

Existen otras investigaciones donde especifican que la quitina podría representar una fuente significativa de nitrógeno para los HMA, debido a que la quitina, junto con la celulosa, representan los polímeros más abundantes en la naturaleza, con un alto contenido de nitrógeno y presente en gran medida en la micro, meso y macrofauna del suelo (Clarkson et al., 2000; Tharanathan et al., 2003). De esta manera se ha reportado que una gran fracción de nitrógeno orgánico de la quitina se transfiere a las plantas micorrizadas en unas pocas semanas posterior a la inoculación (Kobae et al., 2015; Bukovská et al., 2018).



En el caso del fósforo, su mayor absorción en las plantas de café se debe primero a la colonización de *Rhizoglyphus dunense*, ya que el micelio de este HMA crece longitudinalmente lo que le permite penetrar en capas más profundas del suelo, mejorando así la disponibilidad de nutrientes (Berhanu et al., 2013; Raklami et al., 2019). Como consecuencia de los HMA, se intercambian minerales inorgánicos y moléculas que contienen carbono y fósforo, lo que otorga a las plantas un mayor desarrollo o nivel de vitalidad (Golubkina et al., 2020). Por lo tanto, pueden aumentar significativamente los niveles de fósforo tanto en la raíz como en los brotes. Los HMA pueden optimizar la solubilización de fósforo, aumentar los niveles de nutrientes y mineralizar fosfatos orgánicos (Fernández et al., 2012; Heydari y Maleki, 2014; Masahari et al., 2023).

En consecuencia, los HMA son evidentemente capaces de mejorar la absorción de nutrientes inorgánicos en la mayoría de las plantas, especialmente el fosfato (Nell et al., 2010). Además, los fertilizantes orgánicos también pueden tener un impacto indirecto positivo en la absorción de nutrientes mediada por micorrizas debido al crecimiento de hifas extrarradicales promovidas por una mayor materia orgánica del suelo (Joner y Jakobsen, 1995; Masahari et al., 2023). En lugar de la afinidad fósforo específica del hongo, las plantas micorrícicas parecen depender de las longitudes de las hifas extrarradicales para determinar la absorción de fósforo (Schweiger et al., 1999; Begum et al., 2019). Todo esto permite que la planta, al presentar mayor absorción de fósforo también presente mayor rendimiento de biomasa aérea, y esto se ha demostrado en diferentes cultivos como la cebada (Masahari et al., 2023; Heydari y Maleki, 2014), maíz (Fernández et al., 2012), ajo (Golubkina et al., 2020), entre otros (Raklami et al., 2019), que a la vez reflejan los resultados obtenidos en la presente investigación donde también se obtuvo mayor biomasa aérea y radicular en los tratamientos con el HMA *Rhizoglyphus dunense*.

Los resultados obtenidos del contenido de potasio representan la importancia de este nutriente en las plantas, al representar su importancia en el movimiento estomático, la síntesis de proteínas y también se considera un regulador osmótico (Chandrasekaran, 2020). También participa en otros varios procesos cruciales como la polarización de la membrana plasmática, la adaptación a los cambios ambientales y el crecimiento de la planta (Wang y Wu, 2013). Por lo que mantener una concentración elevada de potasio en las células vegetales es vital para el buen funcionamiento de tales procesos fisiológicos (Shin y Adams, 2014). Aunque el potasio es extremadamente abundante en el suelo, presenta ciertas características desfavorables como que por su alta adsorción mineral, su disponibilidad es bastante limitada. Las zonas de agotamiento surgen alrededor de las raíces como resultado de esta disponibilidad limitada junto con la necesidad inherente de las plantas (García y Zimmermann, 2014). Para mejorar la absorción de potasio del suelo, las plantas deben idear

métodos eficaces (Zörb et al., 2014). Ejemplos de estas estrategias incluyen el desarrollo de interacciones planta-HMA o la adquisición de redes de transporte de alta afinidad. Y es precisamente los HMA influyen en la morfología de la raíz, pero más precisamente en presencia de potasio, considerándose como un efecto sinérgico entre los HMA y el potasio en suelo promueven el crecimiento de la raíz y con ello la acumulación de potasio (Yuan et al., 2023). Por lo tanto, es importante tener en cuenta que la mayor absorción de nutrientes por HMA se atribuye a la regulación en el alargamiento de la raíz, la formación lateral de la raíz y el vello de la raíz, y la expansión del área de la superficie de la raíz y el volumen de la raíz (Chandrasekaran, 2020). De esta manera, esto corrobora nuestros resultados, evidencia mayor biomasa radicular de las plantas de café en los tratamientos con mayor contenido de potasio, en efecto por la presencia del HMA *Rhizoglosum dunense*.

#### 4.2. Evaluar el efecto de la inoculación de *Rhizoglosum dunense* y *Paraglosum laccatum* sobre la incidencia y severidad de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.

##### a) Incidencia

El análisis estadístico del porcentaje de incidencia de *Meloidogyne incognita* en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 17). En la Figura 25 se presenta los resultados de la evaluación del porcentaje de incidencia de *Meloidogyne incognita* en plantas de café, evidenciándose que todos los tratamientos que fueron inoculados con *Meloidogyne incognita* no presentaron diferencia significativa, todos presentaron 100% de incidencia. En el caso del control, no se presentó incidencia (0%), permitiendo una comparación idónea.

43

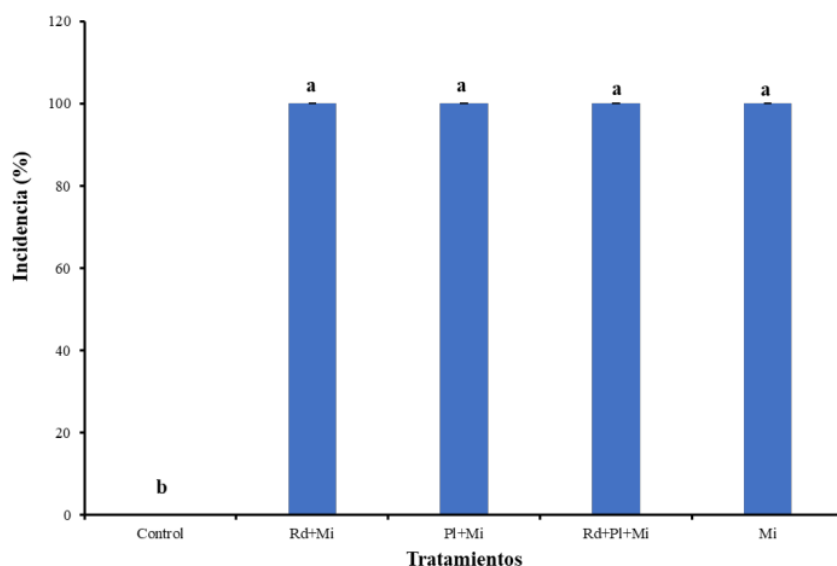
**Tabla 17**

Análisis de varianza del porcentaje de incidencia de *Meloidogyne incognita* en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglosum dunense* y *Paraglosum laccatum* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
Tratamiento	4	62721	15724	174	< 0,0001 ***
Error	40	5272	76		
Total	44	67993			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 5,2%      R<sup>2</sup>= 99%



**Figura 25.**

Comparación de medias del porcentaje de incidencia del nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de los HMA *Rhizogloium dunense* (Rd) y *Paragloium laccatum* (PI) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados del porcentaje de incidencia muestran que los tratamientos con presencia de HMA no lograron evitar ni disminuir la invasión de *Meloidogyne incognita* en el sistema radicular de las plantas de café. Aunque existen reportes de diversas especies de HMA que tienen la capacidad de reducir la invasión de patógenos presentes en la rizosfera (Weng et al 2022), la mayoría son reportes de enfermedades fúngicas (Hashem et al., 2021; Spagnoletti et al., 2021). Pero en el caso de café frente a nematodos, se reportan mejores resultados obtenidos por Chinchay (2016) quien obtuvo como mínimo 4% de incidencia de nematodos en raíces de café a los 90 días posterior a la inoculación de HMA con el consorcio nativo Buena Vista de la región San Martín. De igual manera Espinoza (2018), obtuvo resultados superiores en comparación con los obtenidos en esta investigación, el cual obtuvo como máximo 3,37% de incidencia de nematodos en raíces de café empleando un consorcio de HMA denominado Huall-pache, consorcio que presentaba tres especies del género *Acaulospora* y dos especies del género *Glomus*.

## b) Severidad

El análisis estadístico del grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 18). En la Figura 26 se presenta los resultados de la evaluación del grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en plantas de café, evidenciándose que el tratamiento Rd+Mi, tratamiento en presencia del HMA *Rhizoglopus dunense* y del patógeno *Meloidogyne incognita*, redujo significativamente el grado de severidad con 2,6. Mientras que el tratamiento PI+Mi y Mi, fueron los tratamientos con mayor grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en las raíces de café, con 4,1 y 4,4 grado de severidad, respectivamente.

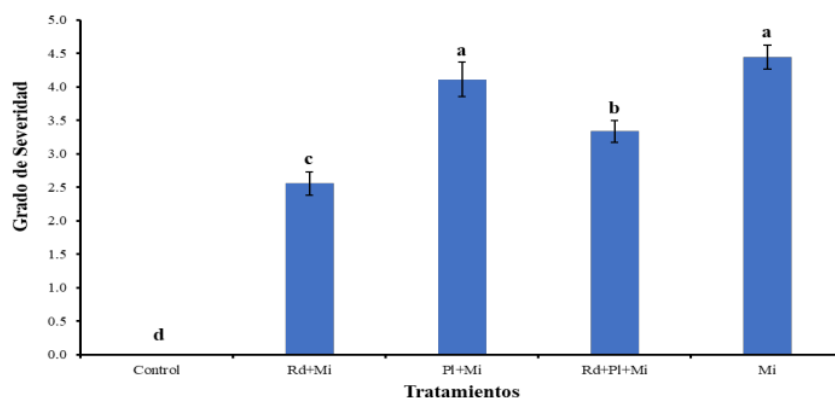
**Tabla 18**

Análisis de varianza del grado de severidad de *Meloidogyne incognita* en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense* y *Paraglopus laccatum* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
<b>Tratamiento</b>	4	99,87	24,967	95,62	< 0,0001 ***
<b>Error</b>	40	10,44	0,261		
<b>Total</b>	44	110,31			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 18,5%      R<sup>2</sup>= 91%



**Figura 26.**

Comparación de medias del grado de severidad de *Meloidogyne incognita* (Mi) en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd) y *Paraglopus laccatum* (PI) a los 145 días posterior a la inoculación.

<sup>6</sup> Los resultados del grado de severidad muestran que los tratamientos con presencia del HMA *Rhizoglyphus dunense* lograron reducir el grado de severidad en relación con la formación de nódulos de *Meloidogyne incognita* en el sistema radicular de las plantas de café, pero a pesar de que, en la evaluación anterior de incidencia, *Rhizoglyphus dunense* no logró reducir el porcentaje de incidencia, si disminuye notablemente la severidad, es decir, que a pesar de que el nematodo ingresó a la planta y desarrollo nódulo, estos fueron menores en comparación a los que se obtuvo con el tratamiento con solo *Meloidogyne incognita*, esto demuestra la gran capacidad bioprotectora que presenta esta especie de HMA. Mientras que <sup>3</sup> la especie de HMA *Paraglyphus laccatum* no presentó diferencia significativa con el tratamiento con nematodos solos, de esta manera se demuestra que esta especie no posee el potencial bioprotector frente a este patógeno. <sup>27</sup> Estos resultados son superiores a los obtenidos por Vallejos-Torres et al. (2020), quienes obtuvieron como mínimo 3,37% de gravedad de infección de las raíces de café por *Meloidogyne* spp. empleando un consorcio de HMA denominado Huall-pache, consorcio que presentaba tres <sup>25</sup> especies del género *Acaulospora* y dos especies del género *Glomus*.

La capacidad de reducir la severidad en las raíces de café se relaciona con la asociación planta-HMA, permitiendo no solo incrementar el desarrollo de la planta, si no también incrementar su tolerancia o capacidad de defensa frente a diversas enfermedades de la rizosfera, como es el caso de nematodos del nudo de la raíz, demostrando la capacidad del HMA como un agente biológico de protección (bioprotector). Esta asociación planta-HMA desarrollada previamente (antes de inocular el patógeno), evita que más adelante los nematodos puedan ingresar con facilidad las raíces micorrizadas (Bagyaraj, 2014). Se reportan investigaciones <sup>38</sup> de las interacciones entre los HMA y los patógenos, en presencia de la asociación planta-HMA, los HMA pueden reducir o mitigar la gravedad o severidad de la enfermedad (Andrade et al. 2009). En este sentido, se determina que los HMA pueden reducir la severidad del daño causado por nematodos, pero no pueden ofrecer una inmunidad completa frente a las infecciones por patógenos vegetales, atribuyendo únicamente un cierto grado de resistencia frente a <sup>3</sup> los patógenos vegetales transmitidos por el suelo (Bagyaraj 2014). Pero es relevante el uso de los HMA nativos, los cuales ya están adaptados a las condiciones ambientales y diferentes estreses bióticos de la misma localidad o región, por lo tanto, presentan una línea evolutiva en constante competencia con otros microorganismos, dentro de estos los perjudiciales como es *Meloidogyne incognita* (Affokpon et al., 2011).

4.3. <sup>3</sup> **Evaluar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* sobre las poblaciones de *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.**

a) **Densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en raíces de café**

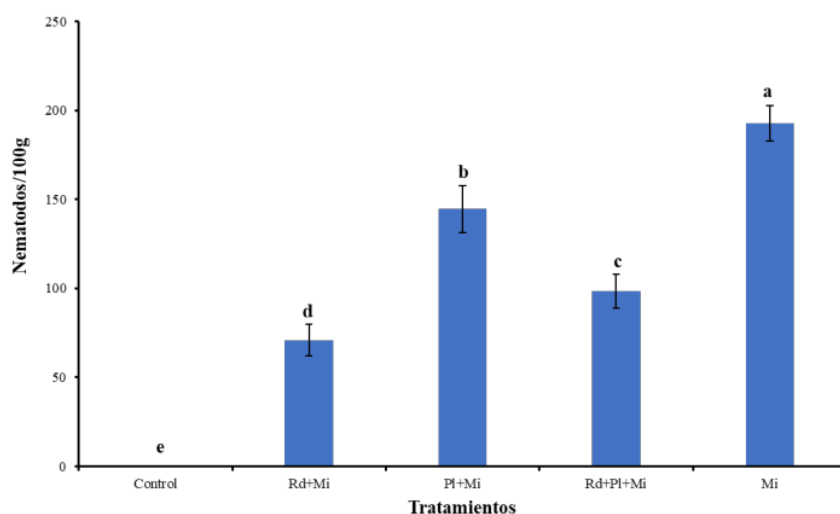
El análisis estadístico de <sup>39</sup> la densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los <sup>7</sup> tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 19). En la Figura 27 se presenta <sup>11</sup> los resultados de la densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en plantas de café, evidenciándose que el tratamiento Rd, tratamiento en presencia del HMA *Rhizoglyphus dunense* y del patógeno *Meloidogyne incognita*, redujo significativamente la densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* con 70,8 nematodos por cada 100 gramos de suelo. Mientras que el tratamiento Mi, fue el tratamiento con mayor <sup>30</sup> densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en las raíces de café, con 192,7 nematodos por cada 100 gramos de suelo.

**Tabla 19**

<sup>30</sup> *Análisis de varianza de la densidad poblacional de *Meloidogyne incognita* en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglyphus dunense* y *Paraglyphus laccatum* a los 145 días posteriores a la inoculación.*

<sup>2</sup> F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
<b>Tratamiento</b>	4	170555	42639	36,81	< 0,0001 ***
<b>Error</b>	40	46340	1158		
<b>Total</b>	44	216895			
<sup>2</sup> NS = no significativo		** = altamente significativo		*** = muy altamente significativo	
C.V= 14,1%				R <sup>2</sup> = 87%	





**Figura 27.**

Comparación de medias de la densidad poblacional del nematodo *Meloidogyne incognita* (Mi) en plantas de café variedad Caturra de 145 días con diferentes tratamientos para determinar el efecto de los HMA *Rhizoglopus dunense* (Rd) y *Paraglopus laccatum* (Pi).

La población de nematodos se vio reducida en los tratamientos donde estuvo inoculado el HMA *Rhizoglopus dunense*, caso que no se observó en el tratamiento inoculado con *Paraglopus laccatum*. Estos resultados se encuentran directamente relacionado con la reducción del grado de severidad, evaluación donde también se presentó una reducción con el mismo inóculo de HMA. Por lo tanto, se puede atribuir a la especie *Rhizoglopus dunense* la capacidad de protección de las raíces de café frente a *Meloidogyne incognita* al igual que los resultados obtenidos por Mehdinejad et al. (2021) la población de nematodos disminuyó en 73,4% y 36,2% a los tratamientos con HMA. El proceso de protección se puede entender por la competencia que pueden ejercer ambos microorganismos en el sistema radicular de la planta, compitiendo por la absorción de productos fotosintéticos y del espacio del sistema radicular de la planta, y en el caso del HMA ya al estar asociado a la planta durante un tiempo previo al ataque o invasión del patógeno, ya se encuentra desarrollada y colonizada gran parte de este sistema radicular, impidiendo que el patógeno pueda invadir el sistema y a la vez adquirir los productos fotosintéticos (Abdel-Azeem et al., 2021; Weng et al., 2022). También se presenta la capacidad de la asociación planta-HMA para un mayor desarrollo radicular, tanto en la longitud, ramificación y sobre todo mayor lignificación de la pared celular, lo cual impide un fácil acceso para cualquier patógeno (Olowe et al., 2018; Villani et al., 2021).

Además, los HMA presentan diversos mecanismos para mantener su asociación con la planta en un estado que no cause un estrés para ambos, considerando que ambos organismos se benefician de su interacción, por lo tanto, los HMA presentan mecanismos de supresión que pueden ser consecuencia de cambios morfológicos, fisiológicos y biológicos en la planta, demostrándose que los HMA impiden la penetración y el crecimiento de patógenos, como es el caso de los nematodos (Vos et al., 2012). Y con la capacidad de alterar los exudados radiculares o produciendo fitoalexinas en la raíz, como la gliceolina, que podrían tener efectos nematocidas, de esta manera los HMA reducen el daño radicular causado por las infecciones de nematodos y con ello la densidad poblacional del patógeno (Marro et al., 2014; Bhale et al., 2018).

#### 4.4. Evaluar la actividad antioxidante enzimática (succinato deshidrogenasa y B-glucanasas) y no enzimática (glutatión reducido) producto de la interacción Micorrizas y *Meloidogyne incognita* en plántulas de café variedad Caturra.

##### a) Succinato deshidrogenasa

El análisis estadístico de la actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 20, 21 y 22). En la Figura 28 se presenta los resultados de la evaluación de succinato deshidrogenasa plantas de café de todos los tratamientos, que en los tratamientos controles no se presentó actividad, mientras que en los tratamientos con HMA se evidencia una baja y alta actividad de los HMA en las raíces.

**Tabla 20**

Análisis de varianza de la no actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglosum dunense*, *Paraglosum laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	36953	12318	268,75	< 0,0001 ***
Nematodo	1	26	26	0,568	0,462
HMA:Nematodo	3	86	29	0,629	0,607
Error	16	733	46		
Total	23	37798			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 20,0%      R<sup>2</sup>= 98%

Tabla 21

Análisis de varianza de la baja actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	1961.5	653,8	9,656	< 0,0001 ***
Nematodo	1	26	26	0,385	0,543876
HMA:Nematodo	3	44.8	14,9	0,221	0,880726
Error	16	1083.3	67,7		
Total	23	3115.6			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 17,2%      R<sup>2</sup>= 95%

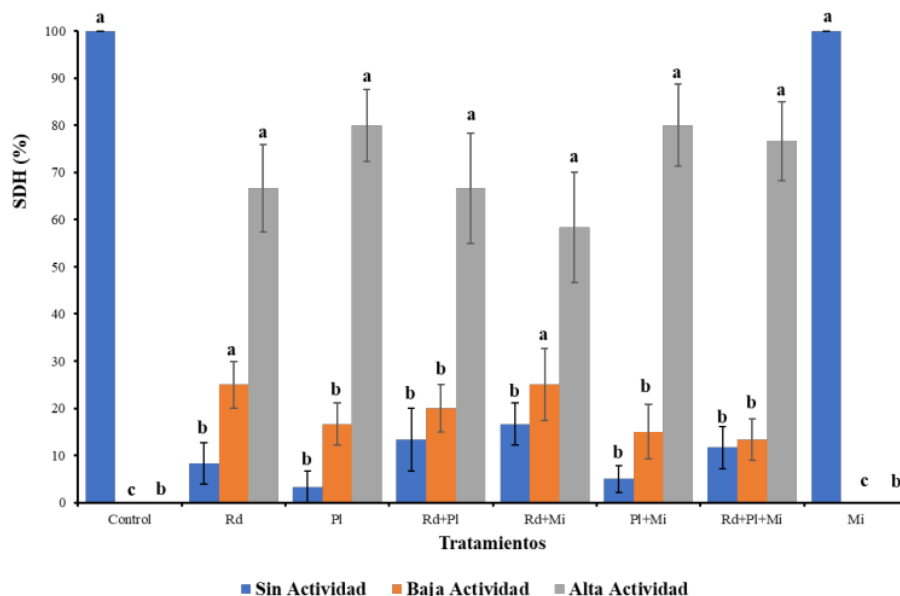
Tabla 22

Análisis de varianza de la alta actividad de succinato deshidrogenasa en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	23853	7951	37,787	< 0,0001 ***
Nematodo	1	1	1	0,005	0,945
HMA:Nematodo	3	253	84	0,401	0,754
Error	16	3367	210		
Total	23	27474			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 17,1%      R<sup>2</sup>= 98%



**Figura 28.**

Comparación de medias de la actividad de succinato deshidrogenasa <sup>1</sup> en plantas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglyphus dunense* (Rd), *Paraglyphus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos demuestran una alta actividad de succinato deshidrogenasa <sup>14</sup> en todos los tratamientos inoculados con HMA, y aunque no presentaron diferencias significativas entre estos tratamientos, se evidenció un mayor promedio en los tratamientos que presentaron menor colonización. En el caso de los tratamientos sin HMA, los resultados obtenidos son los resultados esperados, debido a que no debía presentarse alguna respuesta en la actividad de succinato deshidrogenasa y esto es debido a que esta actividad se manifiesta por las regiones metabólicamente activas e inactivas del HMA en las raíces de la planta (Saito et al., 1993). De esta manera se puede detectar y determinar la colonización fisiológicamente activa sobre la base de las actividades enzimáticas del HMA. <sup>17</sup> Con este método, se tiñen todas las estructuras fúngicas de los HMA metabólicamente activas, como hifas, esporas, vesículas y arbusculos (Vierheilig et al., 2005). Todos los hongos colonizadores revelados por la tinción de la pared celular fúngica son metabólicamente activos en plantas jóvenes, pero este puede no ser el caso en plantas más viejas (Abdel-Fattah, 2001).

Estos resultados corroboran la información que la tinción y detección de la de succinato deshidrogenasa en las raíces también fueron observadas en raíces de arroz colonizadas por el HMA *Rhizophagus irregularis* a los 15 días posteriores a la inoculación (Kobae et al., 2016). Pero esta esta información también presenta que este tipo de detecciones de niveles de colonización se realizó normalmente para inóculos de cepas fúngicas individuales, en contra parte a evaluación de detecciones de niveles de colonización múltiples especies de HMA en raíces cultivadas en suelos de campo (Kobae et al., 2017). Dado que las características fisiológicas difieren entre los taxones de los HMA, y por lo tanto es posible que solo algunos HMA colonizadores de raíces sean fisiológicamente activos (Vivas et al., 2003).

### b) Glutación reducido

El análisis estadístico de la concentración de glutatión reducido en las hojas y raíces de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 23 y 24). En la Figura 29 se presenta los resultados de la concentración de glutatión reducido en las hojas y raíces plantas de café de todos los tratamientos. En el caso de la concentración de glutatión reducido en las hojas, en la Figura 29 se presentan sus resultados en las barras de color verde, evidenciando una mayor concentración de glutatión reducido en las hojas con los tratamientos inoculados con *Rhizoglo mus dunense*, con un rango de 1819,18 hasta 1825,20 mol/g. Y para la concentración de glutatión reducido en las raíces de café, en la Figura 24 se presentan sus resultados en las barras de color azul, presentando el tratamiento Mi (*Meloidogyne incognita*) con mayor concentración de glutatión reducido, específicamente con 2522,34 mol/g en promedio, mientras que el tratamiento inoculado *Rhizoglo mus dunense* (Rd), presento el menor valor de mayor concentración de glutatión reducido, con 1957,97 mol/g en promedio.

24  
Tabla 23

Análisis de varianza de la concentración de glutatión reducido en hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglo mus dunense*, *Paraglo mus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	433,7	144,58	6,268	< 0,0001 ***
Nematodo	1	0,3	0,31	0,014	0,9084
HMA:Nematodo	3	98,3	32,76	1,42	0,2613
Error	24	553,6	23,07		
Total	31	1085,9			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 9,3%      R<sup>2</sup>= 89%

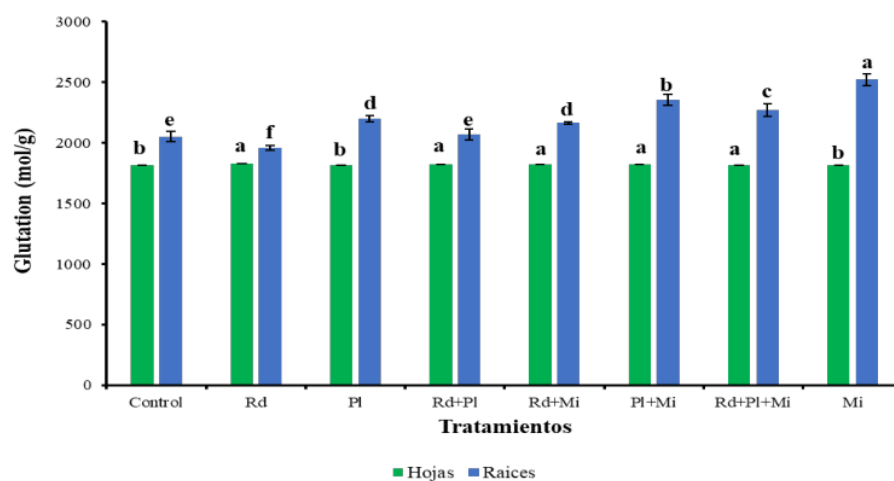
**Tabla 24**

Análisis de varianza de la concentración de glutatión reducido en raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	270703	90234	15,447	< 0,0001 ***
Nematodo	1	536348	536348	91,813	< 0,0001 ***
HMA:Nematodo	3	121426	40475	6,929	0,00161 **
Error	24	140201	5842		
Total	31	1068678			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo

C.V= 3,5%      R<sup>2</sup>= 87%

**Figura 29.**

Comparación de medias de la concentración de glutatión reducido en hojas y raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizoglopus dunense* (Rd), *Paraglopus laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos demuestran una mayor concentración de glutatión reducido en los tratamientos con presencia de *Meloidogyne incognita*, sobre todo cuando no se encontraba con la presencia de los HMA. Toda esta variación de la concentración de glutatión reducido en las hojas y raíces de café evidencian lo relevante que es este tipo de análisis en presencia de estos microorganismos. Es así como las plantas en situaciones de estrés, como la infección con patógenos, a menudo inducen estrés oxidativo que cambia los contenidos de glutatión y



la proporción de glutatión hacia la forma oxidada (Kuzniak et al., 2004; Han et al., 2013). Por lo tanto, la concentración de glutatión reducido está implicada en la respuesta al estrés biótico en las plantas, debido a que una planta infectada por algún patógeno induce a la producción de peróxido de hidrógeno como parte de la respuesta hipersensible, y la cual es potenciada por el óxido nítrico (Pogány et al., 2009; Kuźniak et al., 2013). Las células vegetales desafiadas con un aumento de peróxido de hidrógeno utilizan su maquinaria antioxidante para mantenerlo bajo control, lo que a su vez conlleva a la esto eleva la concentración de glutatión reducido en conjunto con distintos cambios en el contenido de glutatión en diferentes compartimentos subcelulares (Palmieri et al., 2010; Han et al., 2013; Zechmann, 2020). Este mecanismo de las plantas en presencia de patógenos corrobora los resultados obtenidos en la presente investigación, al presentar mayor concentración de glutatión reducido en el tratamiento Mi, tratamiento que se inóculo únicamente *Meloidogyne incógnita*. Pero a la vez también se presentan disminuciones de la concentración de glutatión reducido en los tratamientos con presencia de HMA y *Meloidogyne incógnita*. Esto podría interpretarse como la capacidad de los HMA tanto a reducir la invasión como a reducir los niveles de estrés en la planta en presencia del patógeno.

Es importante mencionar que los tratamientos de café inoculados con *Paraglomus laccatum* presentan estadísticamente los segundos valores más altos de contenidos de glutatión reducido y esto es debido a que los HMA son considerados como hongos benéficos para las plantas en la mayoría de los casos, aún continúan siendo hongos que invaden el tejido vegetal al propagar las hifas desde la superficie por todo el tejido de invasión (Leary et al., 2018; Collemare et al., 2019; Lorang, 2019). Las interacciones planta-HMA se consideran interacciones biotróficas, porque se caracterizan por una relación mutualista entre la planta y el hongo. El hongo se alimenta de los nutrientes que le proporciona la planta y a la vez le brindan beneficios nutricionales y defensivos a la planta (Wipf et al., 2019). Pero los mecanismos subyacentes de tales interacciones son que el hongo enmascara su apariencia y que la planta no reconoce su presencia. Así, la planta no activa sus defensas o las reduce hasta el punto de mantener bajo control la infección fúngica (Panstruga et al., 2019; Wipf et al., 2019). En consecuencia, todo esto explicaría que al no presentar una interacción directa entre *Paraglomus laccatum* y la planta de café, en la que se evidencia el bajo porcentaje de colonización, esta última considerará una amenaza para su sistema radicular incrementado su producción de peróxido de hidrógeno como respuesta frente a un patógeno (por causar daño en su tejido) y con ello incrementar la concentración de glutatión reducido.

### c) $\beta$ -glucanasa

El análisis estadístico de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en las hojas y raíces de café a los 145 días posteriores a la inoculación evidencia diferencia significativa entre los tratamientos de  $\beta$ -glucanasas en raíces, pero no se presenta diferencia en hojas, esto se refleja en el análisis de varianza (Tabla 25 y 26). En la Figura 30 se presenta los resultados de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en las hojas y raíces plantas de café de todos los tratamientos. En el caso de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en las hojas, en la Figura 24 se presentan sus resultados en las barras de color verde. Para la concentración de  $\beta$ -glucanasas en las raíces de café, en la Figura 30 se presentan sus resultados en las barras de color azul, presentando el tratamiento Rd+Mi (*Rhizoglopus dunense* y *Meloidogyne incognita*) con mayor concentración de  $\beta$ -glucanasas, específicamente con 95.26 mol/g en promedio.

24  
Tabla 25

Análisis de varianza de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en hojas de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	180,4	60,12	2,179	0,1167
Nematodo	1	164,5	164,53	5,963	0,0224 *
HMA:Nematodo	3	160,6	53,54	1,94	0,15
Error	24	662,3	27,59		
Total	31	1167,8			

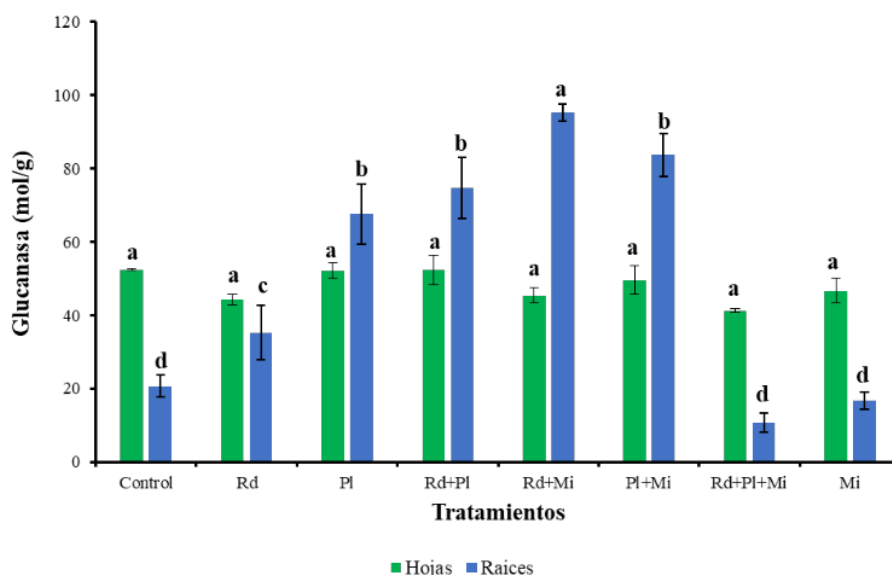
NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo  
C.V= 10,9%      R<sup>2</sup>= 93%

22  
Tabla 26

Análisis de varianza de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos de *Rhizoglopus dunense*, *Paraglopus laccatum* y *Meloidogyne incognita* a los 145 días posteriores a la inoculación.

F. V	GL	SC	CM	F	p-valor
HMA	3	15365	5122	40,496	< 0,0001 ***
Nematodo	1	34	34	0,269	0,609
HMA:Nematodo	3	15914	5305	41,944	0,0064 **
Error	24	3035	126		
Total	31	34348			

NS = no significativo      \*\* = altamente significativo      \*\*\* = muy altamente significativo  
C.V= 12,2%      R<sup>2</sup>= 91%



**Figura 30.**

Comparación de medias de la concentración de  $\beta$ -glucanasas en hojas y raíces de café variedad Caturra con diferentes tratamientos para determinar el efecto de *Rhizogloium dunense* (Rd), *Paragloium laccatum* (PI) y *Meloidogyne incognita* (Mi) a los 145 días posterior a la inoculación.

Los resultados obtenidos demuestran una mayor concentración de  $\beta$ -glucanasas en las raíces en el tratamiento con presencia de *Rhizogloium dunense* y *Meloidogyne incognita*, mientras que en los tratamientos controles Control y Mi, y también el tratamiento Rd+PI+Mi (*Rhizogloium dunense*, *Paragloium laccatum* y *Meloidogyne incognita*) presentan los valores más bajos, por lo que es muy importante comprender la función de las  $\beta$ -glucanasas y su variación de concentración en diferentes tipos de estreses. Pu et al. (2022) en su estudio encontró que la defensa enzimática la inoculación de HMA más patógeno se mostró un aumento de la actividad de la  $\beta$ -1,3-glucanasa en un 125 % mientras que la inoculación de HMA o patógeno disminuyó la actividad de  $\beta$ -1,3-glucanasa en un 28% y un 34%. Cabe señalar que las  $\beta$ -glucanasas se encuentran comúnmente en todo el reino vegetal y existe abundante evidencia de que están involucradas en la respuesta al estrés y específicamente en el mecanismo de defensa de las plantas contra la infección por patógenos (Perrot et al., 2022). Pero este mecanismo de defensa está en relación con que las  $\beta$ -glucanasas participan principalmente en el ensamblaje y reparación/edición de microfibrillas de celulosa durante la biosíntesis de celulosa en plantas (Vain et al., 2014). En consecuencia, las  $\beta$ -glucanasas están ancladas a la membrana plasmática asociadas con el complejo de

celulosa sintasa y son necesarias para la correcta biosíntesis de celulosa en las paredes primaria y secundaria (Gu y Rasmussen, 2022). También se encuentran implicadas en el mantenimiento de la resistencia mecánica de la pared secundaria, mediante para el desarrollo de la pared secundaria puede conducir a que la planta presente un aumento en la cristalinidad de la celulosa, facilitando el recubrimiento de microfibrillas de celulosa con xilanos durante la formación de la pared secundaria, lo que da como resultado paredes reforzadas (Glass et al., 2015).

La expresión de  $\beta$ -glucanasas específicas también se ha asociado con una respuesta defensiva más eficiente contra los ataques de nematodos. De acuerdo con el mecanismo propuesto, las plantas activan la expresión de  $\beta$ -glucanasas secretadas en el sitio de alimentación del nematodo para detener la infección, lo que probablemente interfiere con el desarrollo del patógeno (Woo et al., 2014). Pero algunos nematodos han adquirido la capacidad de reclutar  $\beta$ -glucanasas vegetales en los sitios de infección como una forma de promover la virulencia al ayudar en el desarrollo de células gigantes y sincitios, estructuras de alimentación especializadas (Tucker et al., 2007). Aunque la formación de estas estructuras es diferente según la especie, a menudo implica una remodelación extensa de las paredes de la planta y del nematodo, lo que permite el alargamiento de las células y la aparición de crecimientos internos elaborados con el objetivo de aumentar el área de superficie para la absorción de nutrientes (Perrot et al., 2022).

El efecto de los HMA en la concentración de  $\beta$ -glucanasas en las plantas micorrizadas, es primeramente en base a los aumentos pronunciados en la biomasa de la raíz inducida por la asociación, puede estar relacionada con las características diferenciales metabólicas y de la pared celular de las plantas (Kalluri et al., 2016). En consecuencia, se evidencian efectos beneficiosos de las micorrizas en el crecimiento de las plantas y una sugerencia de la importancia de la química de la pared celular en la micorrización (Balestrini y Bonfante, 2014). A partir de esto, se puede relacionar que en presencia y precisamente, colonización de *Rhizoglyphus dunense* en las raíces de café, permitieron un mayor desarrollo de las paredes celulares y eso se ve expresado en la cantidad de  $\beta$ -glucanasas presentes en estas plantas, permitiendo una invasión y por ende, menor daño causado por *Meloidogyne incognita*.

## CONCLUSIONES

Las plantas de café variedad Caturra inoculadas con *Rhizogloium dunense*, mostraron mayor desarrollo y también mayor porcentaje colonización (85%) y concentración nutricional (318,3 mg/kg de nitrógeno 7,9 mg/kg de fósforo y 231,0 mg/kg potasio), evidenciándose que esta especie de HMA tiene una gran capacidad biofertilizante y bioprotectora frente a *Meloidogyne incognita*.

No hubo diferencia significativa en la incidencia de *Meloidogyne incognita* entre todos los tratamientos (100% de incidencia). Pero en el grado de severidad si se evidencia una reducción en plantas de café variedad Caturra inoculadas con *Rhizogloium dunense*, reduciendo de 4,4 a 2,6 el grado de severidad.

Se demostró la reducción en la población de *Meloidogyne incognita* en las raíces de café variedad caturra inoculadas con *Rhizogloium dunense* (70,8 nematodos/100 g suelo), en comparación a las plantas sin inocular (192,7 nematodos/100 g suelo).

No hubo diferencias significativas en la actividad de succinato deshidrogenasa entre todos los tratamientos, mientras que para la concentración de glutatión reducido se obtuvieron menores valores en los tratamientos inoculados con *Rhizogloium dunense* (1957,97 mol/g), y en el caso de la evaluación de la actividad de B-glucanasas se obtuvo el mayor valor de reacción en el tratamiento inoculado con *Rhizogloium dunense* y *Meloidogyne incognita* (95,26 mol/g).

## RECOMENDACIONES

Realizar ensayos con plantas de café inoculadas con la especie *Rhizoglofus dunense* en campo y en diferentes altitudes de la región San Martín, para determinar su efecto biofertilizante y bioprotector en condiciones naturales.

Realizar ensayos de biofertilización y bioprotección en plantas de café inoculadas con la especie *Rhizoglofus dunense* en combinación con otras especies nativas de HMA, para determinar el rango de compatibilidad con otras especies de HMA o si presenta alto mecanismo de competencia.

Realizar ensayos de biofertilización y bioprotección en plantas de café inoculadas con la especie *Rhizoglofus dunense* en diferentes rangos de pH, simulando los diferentes suelos que pueden encontrarse los cultivos de café en la región San Martín.

Realizar estudios de *Paraglofus laccatum* en otros cultivos de importancia agrícola de la región San Martín, con la finalidad de determinar su rango de hospederos que permitirá explotar su capacidad biofertilizante, y así mismo determinar las interacciones genéticas-bioquímicas que impiden su colonización en raíces de café.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Azeem, A.M., Yadav, A.N., Yadav, N., Usmani, Z. (2021). Industrially important fungi for sustainable development. Springer International Publishing. ISBN 978-3-030-67561-5. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-67561-5>
- Abdel-Fattah, G.M. (2001). Measurement of the viability of arbuscular-mycorrhizal fungi using three different stains; relation to growth and metabolic activities of soybean plants. *Microbiol. Res.*, 156, 359-367. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00121>
- Affokpon, A., Coyne, D.L., Lawouin, L., Tossou, C., Agbèdè, R.D., Coosemans, J. (2011). Effectiveness of native West African arbuscular mycorrhizal fungi in protecting vegetable crops against root-knot nematodes. *Biol Fertil Soils*, 47, 207-217. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0525-1>
- Alwora, G., Gichuru, E. K. (2014). Advances in the management of coffee berry disease and coffee leaf rust in Kenya. *J. Renew. Agric.*, 2, 5-10. <https://doi.org/10.12966/jra.03.02.2014>
- Andrade, S.A.L., Mazzafera, P., Schiavinato, M.A., Silveira, A.P.D. (2009). Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *J Agri Sci*, 147, 105-115. <https://doi.org/10.1017/S0021859608008344>
- Arguedas-Gamboa, M., Rodríguez-Solís, M., Guevara-Bonilla, M., Esquivel-Segura, E., Sandoval-Rocha, S., Briceño-Elizondo, E. (2019). Incidencia y severidad de *Olivea tectonae* y *Rhabdopterus* sp. en plantaciones jóvenes de *Tectona grandis* L.f. bajo distintas modalidades de control de arvenses. *Agronomía Costarricense*, 43(1), 9-19. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i1.35631>
- Atamian, H.S., Roberts, P.A., Kaloshian, I. (2012). High and Low Throughput Screens with Root-knot Nematodes *Meloidogyne* spp. *J. Vis. Exp.*, 61, e3629. <http://dx.doi.org/10.3791/3629>
- Augé, R.M., Toler, H.D., Saxton, A.M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25, 13-24. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4>
- Bagyaraj, D.J. (2014). Mycorrhizal fungi. *Proc Indian Natn Sci Acad*, 80, 415-428. <https://doi.org/10.16943/ptinsa/2014/v80i2/55118>
- Baker, N.R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 89-113. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>

- Balestrini, R., Bonfante, P. (2014). Cell wall remodeling in mycorrhizal symbiosis: a way towards biotrophism. *Front. Plant Sci.*, 5, 237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00237>
- Balestrini, R., Brunetti, C., Chitarra, W., Nerva, L. (2015). Photosynthetic Traits and Nitrogen Uptake in Crops: Which Is the Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi? *Plants*, 9, 1105. <https://doi.org/10.3390/plants9091105>
- Barrera, S.E. (2009). El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 123-132.
- Barrios, L. (2017). Selección de morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la subcuenca del Cumbaza. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/2585>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Bellaloui, N., Pilbeam, D. (1990). Reduction of nitrate in leaves of tomato during vegetative growth. *J. Plant Nutr.*, 13, 39-55.
- Belmondo, S., Fiorilli, V., Pérez-Tienda, J., Ferrol, N., Marmeisse, R., Lanfranco, L. (2014). A dipeptide transporter from the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* is upregulated in the intraradical phase. *Front. Plant Sci.*, 5, 436. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00436>
- Berhanu, G., Kismányoky, T., Sárdi, K. (2013). Effect of nitrogen fertilization and residue management on the productivity of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agron. Hung.*, 61, 101-111. <http://dx.doi.org/10.1556/AAgr.61.2013.2.2>
- Bhale, U., Bansode, S.A., Singh, S. (2018). Multifactorial role of arbuscular mycorrhizae in agroecosystem. In: Gehlot P, Singh J (eds) *Fungi and their role in sustainable development: current perspectives*. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0393-7>
- Bridge, J., Page, S.L. (1980). Estimation of Root Knot Nematode Infestation Levels in Roots Using a Rating Chart. *Tropical Pest Management*, 26, 296-298. <https://doi.org/10.1080/09670878009414416>
- Bukovská, P., Bonkowski, M., Konvalinková, T., Beskid, O., Hujšlová, M., Püschel, D., Řezáčová, V., Gutiérrez-Núñez, M.S., Gryndler, M., Jansa, J. (2018). Utilization of

organic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi—Is there a specific role for protists and ammonia oxidizers? *Mycorrhiza*, 28, 269-283. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0825-0>

- Cabrera, F.T. (2017). Efecto antagónico entre hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y nematodos de nudos (*Meloidogyne* spp.) en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la Región San Martín. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/2776>
- Camargo-Ricalde, L.S., Montaña, N.M., De la Rosa-Mera, C.J., Montaña, A. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 3-19.
- Chandrasekaran, M. (2020). A meta-analytical approach on arbuscular mycorrhizal fungi inoculation efficiency on plant growth and nutrient uptake. *Agriculture*, 10, 370. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090370>
- Chandrasekaran, M. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A meta-analysis. *Journal of Fungi*, 8(7), 660. <https://doi.org/10.3390/jof8070660>
- Chinchay, D.O. (2016). Efecto de hongos microorízicos arbusculares nativos sobre el nematodo agallador de raíces (*Meloidogyne* spp.) en plantones de café (*Coffea arabica*) variedad caturra en la región de San Martín. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/580>
- Clarkson, D.T., Carvajal, M., Henzler, T., Waterhouse, R.N., Smyth, A.J., Cooke, D.T., Steudle, E. (2000). Root hydraulic conductance: Diurnal aquaporin expression and the effects of nutrient stress. *J. Exp. Bot.*, 51, 61-70. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.342.61>
- Collemare, J., O'Connell, R.J., Lebrun, M.-H. (2019). Nonproteinaceous effectors: The terra incognita of plant–fungal interactions. *New Phytol.*, 223, 590-596. <https://doi.org/10.1111/nph.15785>
- Corazon-Guivin, M.A., Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J.C., Vallejos-Tapullima, A., da Silva, G.A., Oehl, F. (2020). Fungal Systematics and Evolution: FUSE 5. *Sydowia*, 71, 141-245. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0141>
- Cregger, M.A., Schadt, C.W., McDowell, N.G., Pockman, W.T., Classen, A.T. (2012). Response of the soil microbial community to changes in precipitation in a semiarid

- ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology.*, 78, 8587-8594. <https://doi.org/10.1128/AEM.02050-12>
- Cruz, R., Vieira, F.H., Cabral, A., Tadin, L., Miranda, C.M. (2020). Physiological responses of *Coffea arabica* cultivars in association with arbuscular mycorrhizal fungi. *Coffee Science*, 15, e151641. <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v15i.164>
- Del Aguila, K.M. (2016). Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares a plantones de café (*Coffea arabica*), variedad caturra a nivel de vivero en la región San Martín. Tesis de ingeniería para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/826>
- Del Aguila, K.M., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L.A., Becerra, A.G. (2018). Inoculación de Consorcios Micorrízicos Arbusculares en *Coffea arabica*, Variedad Caturra en la Región San Martín. *Información tecnológica*, 29(1), 137-146. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100137>
- Díaz, M. (2022). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantaciones de café y bosques de San Martín, Perú. Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/4812>
- Díaz, V.C., Willems, M.C. (2017). Sector Café en el Perú. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. Lima, Perú.
- Espinoza, E.A. (2018). Efecto bioprotector de micorrizas arbusculares como alternativa agroecológica para controlar nematodos (*Meloidogyne* spp) en *Coffea arabica* a diferentes condiciones edafoclimáticas en la región San Martín. Tesis para optar el grado de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/3172>
- Evans, J.R., Clarke, V.C. (2019). The nitrogen cost of photosynthesis. *J. Exp. Bot.*, 70, 7-15. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery366>
- Fernández, L., Bompadre, J., Pergola, M., Silvani, V., Colombo, R., Bracamonte, F., Godeas, A. (2012). Differential interaction between two *Glomus* intraradices strains and a phosphate solubilizing bacterium in maize rhizosphere. *Pedobiologia*, 55, 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2012.04.001>
- Fitter, A.H., Heinemeyer, A., Staddon, P.L. (2000). The impact of elevated CO<sub>2</sub> and global climate change on arbuscular mycorrhizas: a myco-centric approach. *New Phytol.*, 147(1), 179-187. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00680.x>

- Franken, P., Donge, K., Grunwald, U., Kost, G., Karl-Heinz, R., Tamasloukht, M., Waschke, A., Zeuske, D. (2007). Gene expression analysis of arbuscule development and functioning. *Phytochemistry*, 68(1), 68-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.09.027>
- Fujita, M., Hasanuzzaman, M. (2022). Approaches to enhancing antioxidant defense in plants. *Antioxidants*, 11(5), 925. <https://doi.org/10.3390/antiox11050925>
- García, J.C., Posada, H.E., Salazar, F.A. (2015). Factores de producción que influyen en la respuesta de genotipos de Coffea arabica L. bajo diversas condiciones ambientales de Colombia. *Cenicafé*, 66(2), 30-57. <http://hdl.handle.net/10778/654>
- Garcia, K., Zimmermann, S.D. (2014). The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. *Front Plant Sci.*, 5, 337. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00337>
- Garzón, L.P. (2015). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonía colombiana. *Revista Luna Azul*, 42, 217-234. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14>
- Gavito, M.E., Olsson, P.A., Rouhier, H., Medina-Peñañiel, A., Jakobsen, I., Bago, A., et al. (2005). Temperature constraints on the growth and functioning of root organ cultures with arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*, 168(1), 179-188. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01481.x>
- Gill, S. S., Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48 (12), 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Glass, M., Barkwill, S., Unda, F., Mansfield, S.D. (2015). Endo- $\beta$ -1,4-Glucanases Impact Plant Cell Wall Development by Influencing Cellulose Crystallization. *J. Integr. Plant Biol.*, 57, 396-410. <https://doi.org/10.1111/jipb.12353>
- Golubkina, N.A., Amagova, Z., Matsadze, V., Zamana, S., Tallarita, A., Caruso, G. (2020). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on yield, biochemical characteristics, and elemental composition of garlic and onion under selenium supply. *Plants*, 9, 84. <https://doi.org/10.3390%2Fplants9010084>
- Golubkina, N.A., Amagova, Z., Matsadze, V., Zamana, S., Tallarita, A., Caruso, G. (2020). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on yield, biochemical characteristics, and elemental composition of garlic and onion under selenium supply. *Plants*, 9, 84. <https://doi.org/10.3390%2Fplants9010084>



- Govindarajulu, M., Pfeffer, P.E., Jin, H., Abubaker, J., Douds, D.D., Allen, J.W., Bücking, H., Lammers, P.J., Shachar-Hill, Y. (2005). Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature*, 435, 819-823. <https://doi.org/10.1038/nature03610>
- Gu, Y., Rasmussen, C.G. (2022). Cell Biology of Primary Cell Wall Synthesis in Plants. *Plant Cell*, 34, 103-128. <https://doi.org/10.1093/plcell/koab249>
- Guzmán, O.A., Castaño, J., Villegas, B. (2012). Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. *Agronomía*, 20(1), 38-50.
- Han, Y., Chaouch, S., Mhamdi, A., Queval, G., Zechmann, B., Noctor, G. (2013). Functional analysis of Arabidopsis mutants points to novel roles for glutathione in coupling H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> to activation of salicylic acid accumulation and signaling. *Antioxid. Redox Signal.*, 18, 2106-2121. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5052>
- Hashem, A., Akhter, A., Alqarawi, A.A., Singh, G., Almutairi, K.F., Abd\_Allah, E.F. (2021). Mycorrhizal fungi induced activation of tomato defense system mitigates Fusarium wilt stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5442-5450. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.025>
- Hawkes, C.V., Kivlin, S.N., Rocca, J.D., Huguet, V., Thomsen, M.A., Suttle, K.B. (2011). Fungal community responses to precipitation. *Global Change Biol.*, 17(4), 1637-1645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02327.x>
- Heinemeyer, A., Fitter, A.H. (2004). Impact of temperature on the arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis: growth responses of the host plant and its AM fungal partner. *J Exp Bot.*, 55(396), 525-534. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh049>
- Hernández-Acosta, E., Trejo-Aguilar, D., Rivera-Fernández, A., Ferrera-Cerrato, R. (2019). La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café. Texcoco, Estado de México, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3), 613-628. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.659>
- Herrera, M.S. Castro, B.R., Pérez, M.J. (2019). Diversidad endomicorrícica en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infestadas con roya (*Hemileia vastatrix*). *Nova scientia*, 11(22), 102-123. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i22.1642>
- Heydari, M.M., Maleki, A. (2014). Effect of phosphorus sources and mycorrhizal inoculation on root colonization and phosphorus uptake of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 3, 235-248.



- Ibarra-Puón, J.C., Aguirre-Medina, J.F., Ley-De Coss, A., Cadena-Iñiguez, J., Zavala-Mata, G.A. (2014). *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(2), 201-213. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.09.027>
- Jacoby R; Peukert M; Succurro A; Koprivova A; Kopriva S. (2017). The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition—Current Knowledge and Future Directions. *Front. Plant Sci.*, 8, 1617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jerbi, M., Labidi, S., Lounès-Hadj, A., Chaar, H., Ben, F. (2020). Higher temperatures and lower annual rainfall do not restrict, directly or indirectly, the mycorrhizal colonization of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed conditions. *PLoS One*, 15(11), e0241794. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241794>
- Joner, E.J., Jakobsen, I. (1995). Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 27, 1153–1159.
- Kalluri, U.C., Payyavula, R.S., Labbé, J.L., Engle, N., Bali, G., Jawdy, S.S., Sykes, R.W., Davis, M., Ragauskas, A., Tuskan, G.A.; et al. (2016). Down-Regulation of KORRIGAN-Like Endo- $\beta$ -1,4-Glucanase Genes Impacts Carbon Partitioning, Mycorrhizal Colonization and Biomass Production in *Populus*. *Front. Plant Sci.*, 7, 1455. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01455>
- Khan, Y., Shah, S., Tian, H. (2022). The roles of arbuscular mycorrhizal fungi in influencing plant nutrients, photosynthesis, and metabolites of cereal crops—A review. *Agronomy*, 12(9), 2191. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092191>
- Kobae, Y., Gutjahr, C., Paszkowski, U., Kojima, T., Fujiwara, T., Hata, S. (2016). Lipid droplets of arbuscular mycorrhizal fungi emerge in concert with arbuscule collapse. *Plant Cell Physiol.*, 55, 1945-1953. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu12>
- Kobae, Y., Kawachi, M., Saito, K., Kikuchi, Y., Ezawa, T., Maeshima, M., Hata, S., Fujiwara, T. (2015). Up-regulation of genes involved in N-acetylglucosamine uptake and metabolism suggests a recycling mode of chitin in intraradical mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 25, 411-417. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0623-2>
- Kobae, Y., Ohtomo, R., Oka, N., Morimoto, S. (2017). A simple model system for identifying arbuscular mycorrhizal fungal taxa that actively colonize rice (*Oryza sativa* L.) roots grown in field soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(1), 29-36. <https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1277156>

- Kolawole, G.O., Haastrup, T.M., Olabiyi, T.I. (2018). Can arbuscular mycorrhiza fungi and NPK fertilizer suppress nematodes and improve tuber yield of yam (*Dioscorea rotundata* 'cv'ewuru)? *Euras. J. Soil Sci.*, 7, 181-186. <http://dx.doi.org/10.18393/ejss.384515>
- Kuźniak, E., Kaźmierczak, A., Wielanek, M., Głowacki, R., Kornas, A. (2013). Involvement of salicylic acid, glutathione and protein S-thiolation in plant cell death-mediated defence response of *Mesembryanthemum crystallinum* against *Botrytis cinerea*. *Plant Physiol. Biochem.*, 63, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.014>
- Kuźniak, E., Skłodowska, M. (2004). Differential Implication of Glutathione, Glutathione-Metabolizing Enzymes and Ascorbate in Tomato Resistance to *Pseudomonas syringae*. *J. Phytopathol.*, 152, 529-536. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00884.x>
- Lara-Pérez, L.A., Noa-Carrazana, J.C., Landa, A.J., Hernández-González, S., Oros-Ortega, I., Andrade, A. (2014). Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en *Alsophila firma* (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1609-1623.
- Leary, A.Y., Sanguankiatichai, N., Duggan, C., Tumtas, Y., Pandey, P., Segretin, M.E., Salguero, J., Savage, Z.D., Yow, R.J., Bozkurt, T.O. (2018). Modulation of plant autophagy during pathogen attack. *J. Exp. Bot.*, 69, 1325-1333. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx425>
- Lenoir, I., Fontaine, J., Lounès-Hadj, A. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry.*, 123, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- Li, Y., Liu, C., Zhang, J., Yao, H., Xu, L., Wang, Q., Lawren, S., et al. (2018). Variation in leaf chlorophyll concentration from tropical to cold-temperate forests: association with gross primary productivity. *Ecol. Indic.*, 85, 383-389. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.025>
- Lin, P., Zhang, M., Wang, M., Li, Y., Liu, J., Chen, Y. (2021). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus modulates defense-related genes expression in banana seedlings susceptible to wilt disease. *Plant signaling & behavior*, 16(5), 1884782. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1884782>
- López-Lima, D., Sánchez-Nava, P., Carrion, G., Espinosa, A., Villain L. (2015). Corky-root symptoms for coffee in central veracruz are linked to the root-knot nematode

- meloïdogyne paranaensis, a new report for Mexico. *Eur. J. Plant Pathol.*, 141, 623-629. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0564-9>
- Lorang, J.M. (2019). Necrotrophic Exploitation and Subversion of Plant Defense: A Lifestyle or Just a Phase, and Implications in Breeding Resistance. *Phytopathology.*, 109, 332-346. <https://doi.org/10.1094/PHTO-09-18-0334-IA>
- MacDonald, R.M y Lewis, M. (1978). The occurrences of some acid phosphatases and dehydrogenases in the vesicular– arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *New Phytol.* 80: 135–141. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1978.tb02273>
- Maherali, H., Klironomos, J.N. (2007). Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. *Science*, 316, 1746-1748. <https://doi.org/10.1126/science.1143082>
- Marro, N., Lax, P., Cabello, M., Doucet, M.E., Becerra, A.G. (2014). Use of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* as biological control agent of the nematode *Nacobbus aberrans* parasitizing tomato. *Braz Arch Biol Technol*, 57, 668-674. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201402200>
- Martínez-García, L.B. (2011). Micorrizas arbusculares en ecosistemas semiáridos. Respuesta a factores de estrés ambiental. *Almería España Ecosistemas*, 20(2-3), 117-120.
- Masrahi, A.S., Alasmari, A., Shahin, M.G., Qumsani, A.T., Oraby, H.F., Awad-Allah, M.M.A. (2023). Role of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria in improving yield, yield components, and nutrients uptake of barley under salinity soil. *Agriculture*, 13, 537. <http://dx.doi.org/10.3390/agriculture13030537>
- Mehdinejad, F., Zeynadini Riseh, A., Sedaghati, E., Alaei, H., & Moradi, M. (2021). Evaluation of the Level of Defense Enzymes Induced by Antagonistic Fungi against Root Knot Nematode, *Meloïdogyne javanica* in Pistachio Seedlings. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 35(1), 25-37. <http://dx.doi.org/10.22067/jpp.2021.32842.0>
- Meyer, S., Saccardy-Adji, K., Rizza, F., Genty, B. (2001). Inhibition of photosynthesis by *Colletotrichum lindemuthianum* in bean leaves determined by chlorophyll fluorescence imaging. *Plant, Cell & Environment*, 24(9), 947-956. <https://doi.org/10.1046/j.00168025.2001.00737>
- Minagri (2020). Café. Boletín de publicación trimestral. *Observatorio de Commodities*. Dirección regional de políticas agrarias. Lima, Perú. web: [https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/2020/04/Reporte\\_Obs\\_Commodities\\_Cafe.pdf](https://www.inia.gob.pe/wpcontent/uploads/2020/04/Reporte_Obs_Commodities_Cafe.pdf).

- Młodzińska, E. (2009). Survey of plant pigments: molecular and environmental determinants of plant colors. *Acta Biol. Crac. Ser. Bot.*, 51(1), 7-16.
- Nell, M., Wawrosch, C., Steinkellner, S., Vierheilig, H., Kopp, B., Lössl, A. (2010). Root colonization by symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi increases sesquiterpenic acid concentrations in *Valeriana officinalis* L. *Planta Med.*, 76, 393-398. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1186180>
- Neuenkamp, L., Prober, S.M., Price, J.N., Zobel, M., Standish, R.J. (2019). Benefits of mycorrhizal inoculation to ecological restoration depend on plant functional type, restoration context and time. *Fungal Ecol.*, 40, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.004>
- Oliveira, J.R.G., de Resende, G.M., de Melo, N.F., Yano-Melo, A.M. (2017). Symbiotic compatibility between arbuscular mycorrhizal fungi (autoctone or exotic) and three native species of the Caatinga in different phosphorus levels. *Acta Sci Biol Sci*, 39, 59-69. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v39i1.33486>
- Olowe, O.M., Olawuyi, O.J., Sobowale, A.A., Odebode, A.C. (2018). Role of arbuscular mycorrhizal fungi as biocontrol agents against *Fusarium verticillioides* causing ear rot of *Zea mays* L. (Maize). *Current Plant Biology*, 15, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2018.11.005>
- Orbe, G.M. (2019). Efecto bioprotector de diferentes especies de hongos micorrizicos arbusculares sobre nematodos del nódulo *Meloidogyne incognita* en plantulas de sacha inchi *Plukenetia volubilis* L. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12737/6132>
- Palmieri, M.C., Lindermayr, C., Bauwe, H., Steinhauser, C., Durner, J. (2010). Regulation of plant glycine decarboxylase by S-nitrosylation and glutathionylation. *Plant Physiol.*, 152, 1514-1528. <https://doi.org/10.1104/pp.109.152579>
- Pankova, H., Lepinay, C., Rydlova, J., Voriskova, A., Janouskova, M., Dostalek, T., et al. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbial communities from dry grassland do not improve plant growth on abandoned field soil. *Oecologia*, 186, 677-689. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-4054-6>
- Panstruga, R., Kuhn, H. (2019). Mutual interplay between phytopathogenic powdery mildew fungi and other microorganisms. *Mol. Plant Pathol.*, 20, 463-470. <https://doi.org/10.1111/mpp.12771>

- Peraza-Padilla, W., Rosales-Flores, J., Esquivel-Hernández, A., Hilje-Rodríguez, I., Molina-Bravo, R., Castillo-Castillo, P. (2013). Identificación morfológica, morfométrica y molecular de *Meloidogyne incognita* en higuera (*Ficus carica* L.) en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 337-346.
- Pérez, Q., Cruz, C., Poma, L., Cadena M. (2017). Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (*Coffea arábica* L), Alto Lima-Caranavi. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1), 53-59.
- Pérez, Q.F., Cruz, C.D., Poma, L.E., Cadena, M.F. (2017). Densidad poblacional de nematodos en el cultivo del café (*Coffea arábica* L.), Alto Lima-Caranavi. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4(1), 53-59.
- Perrot, T., Pauly, M., Ramírez, V. (2022). Emerging Roles of  $\beta$ -Glucanases in Plant Development and Adaptative Responses. *Plants*, 11, 1119. <https://doi.org/10.3390/plants11091119>
- Phillips, J.M., Hayman, D.S. (1970). Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment of Infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Pilbeam, D.J. (2018). The Utilization of Nitrogen by Plants: A Whole Plant Perspective. In Annual Plant Reviews online, J.A. Roberts (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0460>
- Pogány, M., von Rad, U., Grün, S., Dongó, A., Pintye, A., Simoneau, P., Bahnweg, G., Kiss, L., Barna, B., Durner, J. (2009). Dual roles of reactive oxygen species and NADPH oxidase RBOHD in an Arabidopsis-*Alternaria* pathosystem. *Plant Physiol.*, 151, 1459-1475. <https://doi.org/10.1104/pp.109.141994>
- Pu, C., Ge, Y., Yang, G., Zheng, H., Guan, W., Chao, Z., Shen, Y; Liu, S; Chen, M., Huang, L. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance disease resistance of *Salvia miltiorrhiza* to *Fusarium* wilt. *Frontiers in Plant Science*, 13. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2022.975558>
- Qin, M., Miranda, J. P., Tang, Y., Wei, W., Liu, Y., Feng, H. (2021). Pathogenic microbes increase plant dependence on arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 2184. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.707118>
- Raklami, A., Bechtaoui, N., Tahiri, A., Anli, M., Meddich, A., Oufdou, K. (2019). Use of rhizobacteria and mycorrhizae consortium in the open field as a strategy for improving



- crop nutrition, productivity and soil fertility. *Front. Microbiol.*, *10*, 1106. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01106>
- Ramirez-Viga, T.K., Aguilar, R., Castillo-Arguero, S., Chiappa-Carrara, X., Guadarrama, P., Ramos-Zapata, J. (2018). Wetland plant species improve performance when inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis of experimental pot studies. *Mycorrhiza*, *28*, 477-493. <https://doi.org/10.1007/s00572-018-0839-7>
- Rengifo, S. (2020). Identificación y comparación molecular de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares asociados *Coffea arabica* L. de diferentes edades y características de suelo en la región San Martín. Tesis para optar el grado de Biólogo. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18307>
- Rivera, R., Fernández, F., Hernández, A., Triana, J.R., Fernández, K. (2003). El Manejo Efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe – Ciudad de la Habana. 160 p.
- Rojas, M., Salazar, L. (2013). Densidad crítica de *Meloidogyne Exigua* en plantas de Almácigo de café variedad Caturra. *Agronomía Costarricense*, *37*(2), 115-123.
- Saikai, K.K., Oduori, C., Situma, E., Njoroge, S., Murunde, R., Kimenju, J.W., Miano, D.W., Haukeland, S., Coyne, D. (2023). Biocontrol-based strategies for improving soil health and managing plant-parasitic nematodes in coffee production. *Front Plant Sci.*, *14*, 1196171. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1196171>
- Saito, M., Stribley, D.P., Hepper, C.M. (1993). Succinate dehydrogenase activity of external and internal hyphae of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae* (Nicol.&Gerd.) Gerdmann and Trappe, during mycorrhizal colonization of roots of leek (*Allium porrum* L.), as revealed by in situ histochemical staining. *Mycorrhiza*, *4*, 59-62. <https://doi.org/10.1007/BF00204059>
- Sangabriel-Conde, W., Trejo-Aguilar, D., Soto-Estrada, A., Ferrera-Cerrato, R., Lara-Capistrán, L. (2010). Potencial de colonización de hongos micorrízico–arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de producción. *Revista mexicana de micología*, *31*, 45-52.
- Saparrat M. C. N., Ruscitti M. F., Arango M. C. (2020). Micorrizas Arbusculares. Libros de Cátedra. La Plata: Editorial de la Universidad de La Plata, 135.
- Schouteden, N., De Waele, D., Panis, B., Christine, M. (2015). Arbuscular Mycorrhizal Fungi for the Biocontrol of Plant-Parasitic Nematodes: A Review of the Mechanisms Involved. *Front. Microbiol.*, *6*, 1280. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01280>



- Schweiger, P.F., Jakobsen, I. (1999). The role of mycorrhizas in plant P nutrition: Fungal uptake kinetics and genotype variation. In *Plant Nutrition—Molecular Biology and Genetics*; Gissel-Nielsen, G., Jensen, A., Eds.; Kluwer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 277–289.
- Shin, R., Adams, E. (2014). Transport, signalling and homeostasis of potassium and sodium in plants. *J. Integr. Plant Biol.*, *56*, 231-249. <https://doi.org/10.1111/jipb.12159>
- Sieverding, E; Alves S, G; Berndt, R; Oehl, F. (2014). Rhizoglopus, a new genus of the Glomeraceae. *Mycotaxon*, *129*(2), 373-386. <https://doi.org/10.5248/129.373>
- Smith, S.E., Read, D.J. (2000). Mycorrhizal symbiosis. Second edition. Academic press. San Diego, California. ISMN 0-12652840-3.
- Solís, R., Vallejos-Torres, G., Arévalo, L., Caceres, B. (2022). Mycorrhizal effects on glomalin-related soil protein and chlorophyll contents in coffee plants in the Peruvian Amazon. *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, *52*, e72303. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272303>
- Spagnoletti, F.N., Carmona, M., Balestrasse, K., Chiocchio, V., Giacometti, R., Lavado, R.S. (2021). The arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus intraradices* reduces the root rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in wheat. *Rhizosphere*, *19*, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100369>
- Spiertz, J., De Vos, N. (1983). Agronomical and physiological aspects of the role of nitrogen in yield formation of cereals. *Plant Soil*, *75*, 379-391.
- Tharanathan, R.N., Kittur, F.S. (2003). Chitin—The undisputed biomolecule of great potential. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, *43*, 61-87. <https://doi.org/10.1080/10408690390826455>
- Torrecillas, E., Alguacil, M., Roldán, A. (2012). Host preferences of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing annual herbaceous plant species in semiarid Mediterranean prairies. *Appl. Environ. Microbiol.*, *78*, 6180-6186. <https://doi.org/10.1128/AEM.01287-12>
- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L., Alarcón, A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, *84*, 23-31. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>
- Trejo-Aguilar, D., Ferrera-Cerrato, R., Sangabriel-Conde, W., Baeza, Y. (2018). Efecto de la micorriza arbuscular en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infectadas por el nematodo de la corchosis de la raíz. *Agroproductividad*, *11*, 98-104.

- Tucker, M.L., Burke, A., Murphy, C.A., Thai, V.K., Ehrenfried, M.L. (2007). Gene Expression Profiles for Cell Wall-Modifying Proteins Associated with Soybean Cyst Nematode Infection, Petiole Abscission, Root Tips, Flowers, Apical Buds, and Leaves. *J. Exp. Bot.*, 58, 3395-3406. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm188>
- Urbanovich, E.A., Afonnikov, D.A., Nikolaev, S.V. (2021). Determination of the quantitative content of chlorophylls in leaves by reflection spectra using the random forest algorithm. *Vavilovskii Zhurnal Genet Seleksii.*, 25(1), 64-70. <http://dx.doi.org/10.18699/VJ21.008>
- Vain, T., Crowell, E.F., Timpano, H., Biot, E., Desprez, T., Mansoori, N., Trindade, L.M., Pagant, S., Robert, S., Höfte, H., et al. (2014). The Cellulase KORRIGAN Is Part of the Cellulose Synthase Complex. *Plant Physiol.*, 165, 1521-1532. <https://doi.org/10.1104/pp.114.241216>
- Vallejos-Torres, G., Espinoza, E., Marín-Díaz, J., Solís, R., Luis, A. (2020). Arévalo. The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Against Root-Knot Nematode Infections in Coffee Plants. *J Soil Sci Plant Nutr*, 21, 364-373. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00366-z>
- Varas, H.N. (2018). Caracterización de poblaciones peruanas del nematodo del nódulo de la raíz (*Meloidogyne* spp.) en vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis para optar el grado de Máster Scientiae en Fitopatología. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3550>
- Vera, N.Y. (2014). Técnica molecular de PCR para identificar las principales especies de *Meloidogyne* spp. en poblaciones provenientes de Perú. Tesis para optar el grado de maestro Máster Scientiae en Fitopatología. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/152>
- Vierheilig, H., Schweigerb, P., Brundrett, M. (2005). An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Physiol. Plant.*, 125, 393-404. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00564.x>
- Villani, A., Tommasi, F., Paciolla, C. (2021). The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus viscosum* improves the tolerance to verticillium wilt in artichoke by modulating the antioxidant defense systems. *Cells*, 10(8), 1944. <https://doi.org/10.3390/cells10081944>
- Vivas, A., Marulanda, A., Gómez, M., Barea, J.M., Azcón, R. (2003). Physiological characteristics (SDH and ALP activities) of arbuscular mycorrhizal colonization as

- affected by *Bacillus thuringiensis* inoculation under two phosphorus levels. *Soil Biol. Biochem.*, 35, 987-996. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00161-5)
- Vos, C.M., Tesfahun, A.N., Panis, B., De Waele, D., Elsen, A. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans*. *Appl Soil Ecol*, 61, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.04.007>
- Wang, Y., Wu, W.H. (2013). Potassium transport and signaling in higher plants. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 64, 4.1-4.26. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120153>
- Weng, W., Yan, J., Zhou, M., Yao, X., Gao, A., Ma, C., Cheng, J., Ruan, J. (2022). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. *Microorganisms*, 10(7), 1266. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071266>
- Whiteside, M.D., Garcia, M.O., Treseder, K.K. (2012). Amino acid uptake in arbuscular mycorrhizal plants. *PLoS ONE*, 7, e47643. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047643>
- Wipf D., Krajinski F., Van Tuinen D., Recorbet G., Courty P.-E. (2019). Trading on the arbuscular mycorrhiza market: From arbuscules to common mycorrhizal networks. *New Phytol.*, 223, 1127-1142. <https://doi.org/10.1111/nph.15775>
- Woo, M.-O., Beard, H., MacDonald, M.H., Brewer, E.P., Youssef, R.M., Kim, H., Matthews, B.F. (2014). Manipulation of Two  $\alpha$ -Endo- $\beta$ -1,4-Glucanase Genes, *AtCel6* and *GmCel7*, Reduces Susceptibility to *Heterodera Glycines* in Soybean Roots. *Mol. Plant Pathol.*, 15, 927-939. <https://doi.org/10.1111/mpp.12157>
- Wu, S., Shi, Z., Chen, X., Gao, J., Wang, X. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: a meta-analysis. *PeerJ*, 10, e12861. <https://doi.org/10.7717/peerj.12861>
- Yuan, J., Shi, K., Zhou, X., Wang, L., Xu, C., Zhang, H., Zhu, G., Si, C., Wang, J., Zhang, Y. (2023). Interactive impact of potassium and arbuscular mycorrhizal fungi on the root morphology and nutrient uptake of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Front. Microbiol.*, 13, 1075957. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1075957>
- Zechmann, B. (2020). Subcellular roles of glutathione in mediating plant defense during biotic stress. *Plants*, 9, 1067. <https://doi.org/10.3390/plants9091067>
- Zhang, J., Wang, F., Che, R., Wang, P., Liu, H., Ji, B. (2016). Precipitation shapes communities of arbuscular mycorrhizal fungi in Tibetan alpine steppe. *Sci Rep.*, 6, 23488. <https://doi.org/10.1038/srep24556>

Zhang, Q., Sun, Q., Koide, R.T., Peng, Z., Zhou, J., Gu, X., Gao, W., Yu, M. (2014). Arbuscular Mycorrhizal Fungal Mediation of Plant-Plant Interactions in a Marshland Plant Community. *The Scientific World Journal*, 2014, 923610. <https://doi.org/10.1155/2014/923610>

Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture - Status and perspectives. *J. Plant Physiol.*, 171, 656-669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.00>

## ANEXOS

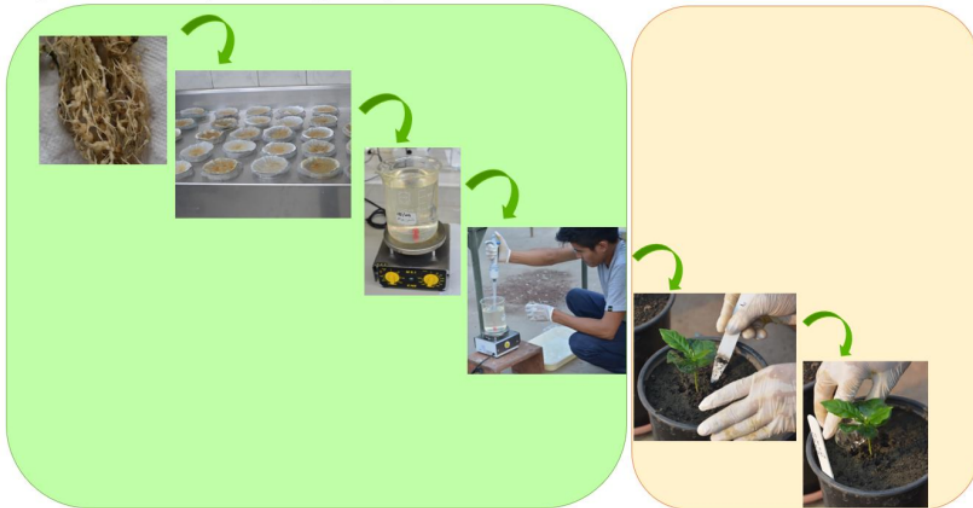
### **Anexo 1.** Proceso de inoculación de HMA en semillas de café de la variedad caturra



### **Anexo 2.** Proceso de preparación e inoculación de nematodo en las plántulas de café de la variedad caturra.

#### Preparación de Inóculo líquido *Meloidogyne incognita*

#### Inoculación de *Meloidogyne incognita*



**Anexo 3.** Comparación de altura de las plantas de café de la variedad caturra micorrizadas con *Rhizogloium dunense* y *Paragloium laccatum* e infestadas con *Meloidogyne incognita* a los 145 días en condiciones de vivero.



T0

T1

T2

T3



T4

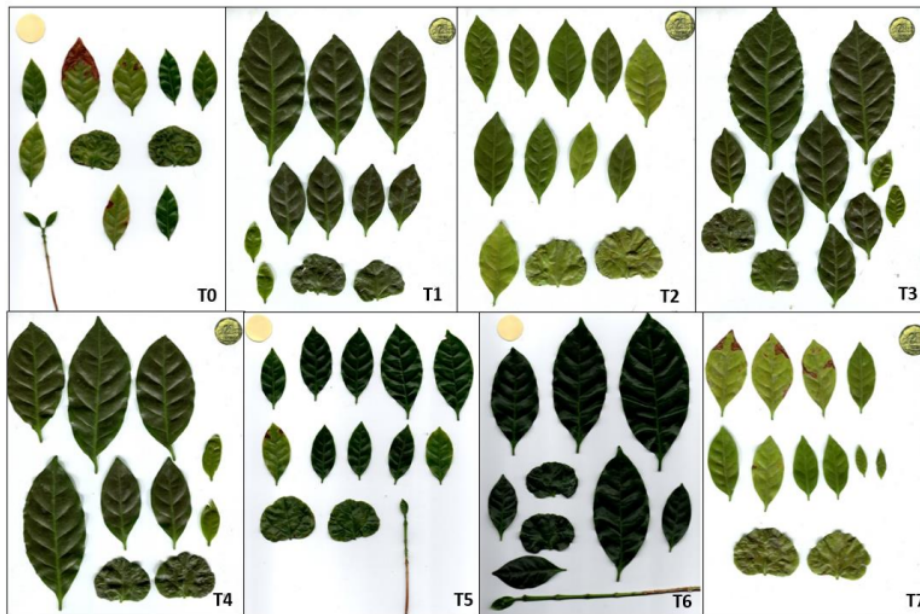
T5

T6

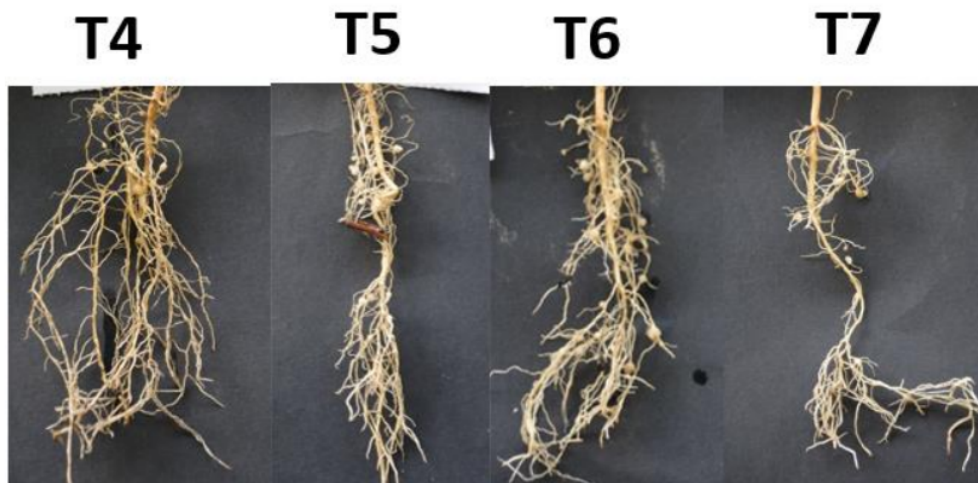
T7



**Anexo 4.** Comparación del área foliar de los diferentes tratamientos evaluados a los 145 días en condiciones de vivero.



**Anexo 5.** Nodulación de las raíces de los tratamientos infestados con *Meloidogyne incógnita*.



# Potencial bioprotector de Rhizoglosum dunense y Paraglosum laccatum contra Meloidogyne incognita en plántulas de Coffea arabica en San Martín, Perú

## INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	5%
3	<a href="https://tesis.unsm.edu.pe">tesis.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
4	<a href="https://repositorio.unsm.edu.pe">repositorio.unsm.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.unapiquitos.edu.pe">repositorio.unapiquitos.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://www.uv.mx">www.uv.mx</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositorio.unas.edu.pe">repositorio.unas.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://rdu.unc.edu.ar">rdu.unc.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://livrosdeamor.com.br">livrosdeamor.com.br</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://visorsig.oefa.gob.pe">visorsig.oefa.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://www.scielo.cl">www.scielo.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://hera.ugr.es">hera.ugr.es</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://46cnscs.cinvestav.mx">46cnscs.cinvestav.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://helvia.uco.es">helvia.uco.es</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://issuu.com">issuu.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

21	<a href="http://www.dspace.unitru.edu.pe">www.dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://doczz.es">doczz.es</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://biotecnia.unison.mx">biotecnia.unison.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://recursosbiblio.url.edu.gt">recursosbiblio.url.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://cibnor.repositorioinstitucional.mx">cibnor.repositorioinstitucional.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://digital.csic.es">digital.csic.es</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://somas.org.mx">somas.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://orcid.org">orcid.org</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://revistas.udca.edu.co">revistas.udca.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://educalingo.com">educalingo.com</a> Fuente de Internet	<1 %
31	Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
32	<a href="http://digibug.ugr.es">digibug.ugr.es</a>	

Fuente de Internet

<1 %

33

[novascientia.delasalle.edu.mx](http://novascientia.delasalle.edu.mx)

Fuente de Internet

<1 %

34

[qdoc.tips](http://qdoc.tips)

Fuente de Internet

<1 %

35

Submitted to CONACYT

Trabajo del estudiante

<1 %

36

[lareferencia.info](http://lareferencia.info)

Fuente de Internet

<1 %

37

Submitted to Universidad Nacional de San  
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

38

[eprints.ucm.es](http://eprints.ucm.es)

Fuente de Internet

<1 %

39

[dspace.utb.edu.ec](http://dspace.utb.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

40

[datospdf.com](http://datospdf.com)

Fuente de Internet

<1 %

41

[ri2.bib.udo.edu.ve](http://ri2.bib.udo.edu.ve)

Fuente de Internet

<1 %

42

[www.smf.org.mx](http://www.smf.org.mx)

Fuente de Internet

<1 %

43	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	<1 %
44	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
45	terralatinoamericana.org.mx Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	cicy.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
48	revistas.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.geotech.cu Fuente de Internet	<1 %
51	revfitotecnia.mx Fuente de Internet	<1 %
52	Dagoberto Durán Hernández, Olivia Tzintzun Camacho, Onécimo Grimaldo-Juárez, Daniel González-Mendoza et al. "Compendio Científico en Ciencias Agrícolas y Biotecnología (Vol 2)", Omnia Publisher SL, 2019	<1 %



53

[ri.agro.uba.ar](http://ri.agro.uba.ar)

Fuente de Internet

<1 %

54

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

55

[repository.ut.edu.co](http://repository.ut.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

56

[journals.uair.arizona.edu](http://journals.uair.arizona.edu)

Fuente de Internet

<1 %

57

Elizabeth Hernández-Acosta, Dora Trejo-Aguilar, Andrés Rivera-Fernández, Ronald Ferrera-Cerrato. "La micorriza arbuscular como biofertilizante en cultivo de café", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2020

Publicación

<1 %

58

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

59

[distancia.udh.edu.pe](http://distancia.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

60

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

61

[repositorio.unimagdalena.edu.co](http://repositorio.unimagdalena.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

62

[www.ciencia-hoy.retina.ar](http://www.ciencia-hoy.retina.ar)

Fuente de Internet

<1 %

63

Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina

Trabajo del estudiante

<1 %

64

biblioteca.cucba.udg.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

65

ediciones.inca.edu.cu

Fuente de Internet

<1 %

66

epdf.pub

Fuente de Internet

<1 %

67

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

68

apsjournals.apsnet.org

Fuente de Internet

<1 %

69

doaj.org

Fuente de Internet

<1 %

70

idus.us.es

Fuente de Internet

<1 %

71

repositorio.udec.cl

Fuente de Internet

<1 %

72

riaa.uaem.mx

Fuente de Internet

<1 %

73

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

74

Alba Mondragón Valero. "Caracterización de materiales de almendro y mejora del desarrollo de planta joven", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

75

Juan Antonio Ávalos Masó. "Factors influencing the mobility of Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae) adults.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2016

Fuente de Internet

<1 %

76

[colposdigital.colpos.mx:8080](http://colposdigital.colpos.mx:8080)

Fuente de Internet

<1 %

77

[core.ac.uk](http://core.ac.uk)

Fuente de Internet

<1 %

78

[www.aida-itea.org](http://www.aida-itea.org)

Fuente de Internet

<1 %

79

[www.idexlab.com](http://www.idexlab.com)

Fuente de Internet

<1 %

80

[www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 10 words