

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



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

**Respuesta de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la
inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de
campo, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas**

AUTORA: Bach. Ingrid Milagros Iliquin Inga

ASESOR: Mg. Santos Triunfo Leiva Espinoza

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. Geomar Vallejos Torres

CHACHAPOYAS - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA



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

**Respuesta de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la
inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de
campo, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas**

AUTORA: Bach. Ingrid Milagros Iliquin Inga

ASESOR: Mg. Santos Triunfo Leiva Espinoza

CO-ASESOR: Ing. M.Sc. Geomar Vallejos Torres

CHACHAPOYAS - PERÚ

2019

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por guiarme por el buen camino, por ayudarme a superar los diferentes obstáculos de la vida y darme fuerzas para seguir adelante.

A mis padres Luis y Esperanza por estar siempre conmigo, por darme su apoyo incondicional, su amor y su compañía. Asimismo, a mi hermana Rosa Manuela y a mi abuela María Luisa por sus sabios consejos. Del mismo modo, con mucho amor a mi amada hija Samantha Issabela. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a duda ha sido en gran parte gracias a ustedes, son mi motivo para superarme y para ser una profesional exitosa.

Ingrid Milagros Iliquin Inga

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación, si bien ha requerido el esfuerzo y dedicación por parte de la autora, no hubiera sido posible su realización sin el apoyo de las siguientes personas e instituciones:

Al Mg. Santos Triunfo Leiva Espinoza e Ing. M.Sc. Geomar Vallejos Torres, por su contribución con su conocimiento científico durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A las personas del equipo técnico del proyecto: Ing. Tito Sánchez Santillán, Ing. Decny Omar Chinchay Rubio e Ing. Cristian Koch Duarte por su ayuda oportuna y sabios consejos para el desarrollo de la tesis.

A mis amigos Karina, Jean Frank, Wuilcer, Deysi, José Daniel, Osmar, Jany, Silvia, Wuilfredo, Boris y Elvis; por su amistad y compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda para lograr este objetivo.

Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad – PNICP por financiar el presente trabajo de investigación enmarcado en el proyecto: Aplicación de Técnicas Innovadoras en la Propagación Clonal e Inoculación Micorrízica de Plantas Matrices de Café (*Coffea arabica* L.) con Alta Productividad en la Región Amazonas – Convenio N° 141 – PNICP – PIAP-2015.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, a través del Gerente Regional del IIAP SAN MARTIN, Ing. M.Sc. Luis Alberto Arévalo López, por darme la oportunidad de formar parte del equipo de investigación de la institución.

Ingrid Milagros Iliquin Inga

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

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
Vicerrectora de Investigación

Ing. Mg. Sc. ERICK ALDO AUQUIÑIVÍN SILVA
Decano (e) de la Facultad
de Ingeniería y Ciencias Agrarias

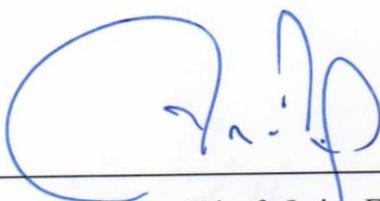
VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Mg. Santos Triunfo Leiva Espinoza, identificado con DNI. 41265287, docente de la escuela profesional de agronomía de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), dejo constancia que he asesorado el proyecto de investigación y la realización de la tesis titulada: “Respuesta de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de campo, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas”.

Asimismo, avala a la Bach. Ingrid Milagros Iliquin Inga, egresada de la escuela profesional de agronomía de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) para la presentación del informe de tesis y me comprometo a orientarlo en el levantamiento de las observaciones y la sustentación de la tesis.

Se le expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Chachapoyas, 08 de junio de 2018



Mg. Santos Triunfo Leiva Espinoza

DNI: 41265287

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

Yo, Ing. M.Sc. Geomar Vallejos Torres, identificado con DNI. 01162440, investigador de proyecto IIAP SAN MARTIN, dejo constancia que he asesorado el proyecto de investigación y la realización de la tesis titulada: “Respuesta de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en condiciones de campo, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas”.

Asimismo, avala a la Bach. Ingrid Milagros Iliquin Inga, egresada de la escuela profesional de Ingeniería Agrónoma de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) para la presentación del informe de tesis y me comprometo a orientarlo en el levantamiento de las observaciones y la sustentación de la tesis.

Se le expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

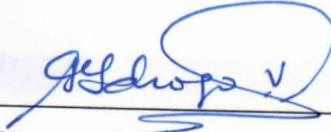
Chachapoyas, 08 de junio de 2018



Ing. M.Sc. Geomar Vallejos Torres

DNI: 01162440

JURADO EVALUADOR DE TESIS



Ing. Guillermo Idrogo Vásquez

PRESIDENTE



M. Sc. Segundo Manuel Oliva Cruz

SECRETARIO



Ms. Jheiner Vásquez García

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-K

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Yo Ingrid Milagros Iliquin Inga
identificado con DNI N° 73532254 Estudiante()/Egresado (X) de la Escuela Profesional de
Ingeniería Agrónoma de la Facultad de:
Ingeniería y Ciencias Agrarias
de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis titulada: Respuesta de clones de café (Coffea arabica L.)
variedad Caturra a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares
en condiciones de campo, distrito de Huamba, Rodríguez de Mendoza,
Amazonas.

que presento para
obtener el Título Profesional de: Ingeniera Agrónoma

2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas, 08 de Junio de 2018.

Firma del(a) tesista

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Secretaría General
OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS

ANEXO 3-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 11 de OCTUBRE del año 2018, siendo las 11:00 horas, el aspirante INGRID MILAGROS ELIQUIN INGA defiende en sesión pública la Tesis titulada: "RESPUESTA DE CLONES DE CAFÉ (Coffea arabica L.) VARIEDAD CATURRA A LA INOCULACIÓN CON HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES EN CONDICIONES DE CAMPO, DISTRITO DE HUAMBO, RODRÍGUEZ DE MENDOZA, AMAZONAS".

para obtener el Título Profesional de INGENIERO AGRÓNOMO, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente : ING. GUILLERMO TORO VÁSQUEZ
Secretario : M. SC. SEGUNDO MANUEL OLIVA CRUZ
Vocal : MS. SHEINER VÁSQUEZ GARCÍA

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

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

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

Aprobado () Desaprobado ()

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

Siendo las 12:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR.....	vii
JURADO EVALUADOR DE TESIS	viii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	ix
ACTA DE EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
2.1. Ubicación del área de estudio.....	20
2.2. Características del suelo y ambientales de la zona	20
2.2.1. Características del suelo	20
2.2.2. Características ambientales.....	21
2.3. Factores en estudio.....	22
2.4. Diseño experimental.....	23
2.5. Descripción del área de la parcela experimental.....	24
2.6. Conducción del experimento.....	24
2.6.1. Obtención de plantones (clones) de café variedad Caturra	24
2.6.2. Obtención de fuentes de inóculos de HMA.....	28
2.6.3. Instalación de los clones de café en el campo experimental.....	30
2.6.4. Análisis de datos.....	32
2.7. Evaluación de variables.....	32
2.7.1. Variables morfológicas.....	32
2.7.2. Variables fúngicas	33

4.7.3. Variables fisiológicas.....	37
III. RESULTADOS.....	39
3.1. Altura de planta (AP).....	39
3.2. Diámetro de tallo (DT).....	40
3.3. Número de ramas (NR).....	40
3.4. Colonización micorrízica (%).....	41
3.5. Longitud del micelio extraradical (MER).....	42
3.6. Número de esporas (NE).....	43
3.7. Incidencia de la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>).....	44
3.8. Severidad de la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>).....	45
IV. DISCUSIÓN.....	46
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
VIII. ANEXOS.....	59
Anexo 1. Análisis fisicoquímico del suelo donde se ejecutó la investigación/Laboratorio de la UNAM-L.....	60
Anexo 2. Análisis fisicoquímico del compost/laboratorio de la UNTRM-A.....	61
Anexo 3. Codificación de plantas y croquis de la parcela experimental.....	62
Anexo 4. Densidad de esporas viables.....	64
Anexo 5. Análisis de varianza.....	65
Anexo 6. Panel fotográfico.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Características ambientales registradas en la Estación Experimental del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) durante el periodo julio 2017- abril 2018</i>	22
Tabla 2. <i>Descripción de tratamientos de estudio/Rodríguez de Mendoza/Amazonas.</i>	23
Tabla 3. <i>Características de las plantas madres de café.</i>	25
Tabla 4. <i>Escala de resistencia a las poblaciones de roya (Horishi et al., 2009).</i>	25
Tabla 5. <i>Cantidad de inóculo utilizado para la inoculación con 3 000 esporas de HMA a los plantones (clones) de café.</i>	30
Tabla 6. <i>Escala de severidad de la roya del café propuesta por Senasa (2012).</i>	38
Tabla 7. <i>Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del inóculo ISNI/ Morfotipos de HMA.</i>	64
Tabla 8. <i>Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del inóculo 10OV/ Morfotipos de HMA.</i>	64
Tabla 9. <i>Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del inóculo 11OVI/ Morfotipos de HMA.</i>	64
Tabla 10. <i>Análisis de varianza de la altura de planta (cm) de clones de café.</i>	65
Tabla 11. <i>Análisis de varianza del diámetro del tallo (mm) de los clones de café.</i>	65
Tabla 12. <i>Análisis de varianza del número de ramas de los clones de cafeto. Datos convertidos \sqrt{x}.</i>	65
Tabla 13. <i>Análisis de varianza del porcentaje de colonización micorrízica (%) de los HMA presentes en los clones de cafeto. Datos convertidos $\arcsen \sqrt{\%}$.</i>	66
Tabla 14. <i>Análisis de varianza de la longitud del micelio extraradical (cm) de los HMA presentes en los clones de café.</i>	66
Tabla 15. <i>Análisis de varianza para el número de esporas producidos por los HMA presentes en los clones de café. Datos convertidos \sqrt{x}.</i>	66
Tabla 16. <i>Análisis de varianza de la incidencia (%) de la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>), presentes en los clones de café, variedad Caturra en plantas micorrizadas y no micorrizadas.</i>	67
Tabla 17. <i>Análisis de varianza de la severidad (°) de la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>), presentes en los clones de café, variedad Caturra en plantas micorrizadas y no micorrizadas.</i>	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen satelital de la parcela experimental en Huambo, provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas (Google earth, 2018).....	20
Figura 2. Niveles de colonización (0-5) de HMA según el grado, método de Trouvelot <i>et al.</i> (1986), para el cálculo de la colonización en el sistema radicular.....	34
Figura 3. Escala de severidad en hoja propuesta por Senasa (2012).....	38
Figura 4. Altura de planta de los clones de café, alcanzado a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	39
Figura 5. Diámetro de tallo de los clones de café, alcanzado a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	40
Figura 6. Número de ramas de los clones de café, alcanzados a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias provenientes de datos originales. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	41
Figura 7. Colonización micorrízica (%) de los HMA presentes en los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	42
Figura 8. Longitud de micelio extraradical de los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	43
Figura 9. Número de esporas producidos por los HMA presentes en los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	44
Figura 10. Porcentaje de incidencia producido por la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>), presentes en los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	45
Figura 11. Severidad producido por la roya amarilla (<i>H. vastatrix</i>), presentes en los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p<0,05$).....	46
Figura 12. Códigos de plantas matrices de café instaladas en campo en el caserío Miraflores, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas.....	62

Figura 13. Croquis de los diferentes tratamientos de los clones de café instalados en campo en el caserío Miraflores, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas.....	63
Figura 14. Instalación en campo y fertilización con compost a los clones de café.....	68
Figura 15. Evaluación de parámetros morfológicos.....	68
Figura 16. Evaluación de parámetros fúngicos.....	69
Figura 17. Evaluación de parámetros fitosanitarios.....	69

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar las respuestas en campo de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la inoculación con Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) y la aplicación de diferentes dosis de compost. Para ello, se utilizó un Diseño en Bloques Completo al Azar (DBCA) de arreglo factorial, con 3 bloques, 12 tratamientos, cada uno con 16 unidades experimentales. Los clones de café de 7 meses de edad, fueron inoculados al momento del trasplante en campo definitivo con 3 000 esporas de HMA, utilizándose tres inóculos eficientes (1SNI, 10OV y 11OVI) y un inóculo in situ; los mismos que se aplicaron 100g y 200g de compost comparándose con un tratamiento control sin compost. Se evaluaron variables morfológicas, fúngicas y fitosanitarias. Los resultados indican diferencias estadísticas significativas en todos los inóculos de HMA y dosis de compost evaluados. Las mejores respuestas en el desarrollo morfológico de las plantas, longitud de micelio extraradical y el número de esporas se obtuvieron en el tratamiento T8, mientras una mayor colonización micorrízica se obtuvo en el tratamiento T10, mostrando además este mismo tratamiento menor incidencia y severidad de la roya amarilla. Las diferencias estadísticas entre el tratamiento T8 y T10 puede estar influenciado por los distintos inóculos utilizados entre estos tratamientos, ya que los inóculos de HMA, originan efectos distintos sobre las plantas.

Palabras clave: Café, clon, inóculo, micorrizas

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the responses in the field of clones of coffee (*Coffea arabica* L.) variety Caturra to inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and the application of different doses of compost. To do this, we used a complete block design (RCBD) factorial arrangement, with 3 blocks, 12 treatments, each with 16 experimental units. The clones of coffee from 7 months of age, were inoculated at the time of transplant in final field with 3000 of AMF spores, using three efficient inocula (1SNI, 10OV and 11OVI) and an inoculum in situ; those used 100g and 200g of compost compared to a control treatment without compost. Morphological variables were evaluated, fungal and phytosanitary measures. The results indicate significant statistical differences in all inocula of HMA and dose of compost evaluated. The best responses in the morphologic development of plants, length of extraradical mycelium and the number of spores were obtained in the treatment T8, while a greater mycorrhizal colonization was obtained in the treatment T10, showing in addition this same treatment less incidence and severity of yellow rust. The statistical differences between the treatment T8 and T10 can be influenced by the different inocula used between these treatments, as inocula of HMA, give rise to different effects on plants.

Key words: Coffee, clone, inoculum, mycorrhiza

I. INTRODUCCIÓN

La planta de café tiene su origen en Etiopía, y fueron los comerciantes árabes, quienes la reprodujeron en la Península Arábiga, por ello el nombre de la especie del café es *Coffea arabica* (Hernández-Acosta *et al.*, 2018). El café en América central, fue introducido por inmigrantes franceses a principios de siglo XVIII, pero luego los holandeses extendieron este cultivo hacia América del Sur (Infocafés, 2007), llegando al Perú en 1838 (Philipps-Paredes, 2017). En el Perú, el café es el principal producto de exportación agrícola y representa cerca de la mitad de las exportaciones agropecuarias y alrededor del 5% del total de las exportaciones peruanas, siendo este producto uno de los que ejerce mayor influencia socioeconómica (Márquez, 2015).

Sin embargo, pese a su importancia socioeconómica, la caficultura peruana enfrenta series limitaciones en cuanto al manejo del cultivo (deficientes prácticas culturales, agotamiento de suelos, difusión de plagas y enfermedades, etc.) que conllevan a índices de productividad por debajo de los países vecinos, no permitiendo un mejor posicionamiento en el mercado internacional (Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri], 2014).

Asimismo, en el año 2013 la producción de café fue seriamente afectado por la roya amarilla del café (*Hemileia vastatrix*), reportándose daños entre 30 a 63% de la producción (Avelino *et al.*, 2015). Este fenómeno se debe principalmente al efecto del cambio climático y a la baja tecnología empleada por los agricultores dedicados a esta actividad, cuyos campos presentan escasa fertilidad, excesivo sombreado en las plantaciones, desconocimiento de métodos adecuados de control y no cuentan con variedades tolerantes o resistentes a la roya del café (Gamarra-Gamarra, 2015).

No obstante, la renovación de cafetales con variedades tolerantes y resistentes a la roya del café está generando pérdidas de las variedades susceptibles como lo es la Caturra, donde además las variedades resistentes y tolerantes a la roya, si bien genéticamente responden positivamente a la presencia de la enfermedad y aunque sus rendimientos se afecten en mínima escala, la calidad del café producido no es demandada por el mercado internacional lo cual afecta el precio del producto y los ingresos del caficultor (Chicas, 2015), puesto que el mercado da mayor preferencia a los cafés orgánicos, en el cual el 60% de los productores

de café de la región Amazonas se dedica a la producción de cafés orgánicos y especiales (Ascaño-Huarca, 2017).

Para abordar este problema, el presente proyecto de investigación propuso optar por la clonación de plantas de café variedad Caturra, colectadas de las fincas cafetaleras de la provincia de Rodríguez de Mendoza, que de manera individual no fueron afectadas por la roya amarilla, lo que podría relacionarse, a un factor de resistencia natural, adquirido por las condiciones agroclimáticas y a las prácticas de manejo que cada productor realizaría en sus plantaciones (Vallejos-Torres *et al.*, 2016), además conociendo que la multiplicación por vía vegetativa permite la reproducción integral de todas las características de un genotipo de café seleccionado (Guerrero *et al.*, 2016).

La existencia de microorganismos benéficos en el suelo, como los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) son una alternativa para mejorar la producción orgánica de café, ya que su uso, puede mejorar el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas de café e incrementar el rendimiento (Hernández-Acosta *et al.*, 2018), debido a que las raíces captan con mayor eficiencia los nutrientes más allá de la superficie de contacto de la raíz con el suelo circundante (Lebrón *et al.*, 2012), y luego los conduce a través de sus hifas hasta las células corticales donde los libera (Osorio, 2014).

En ese sentido, la presente investigación se orientó a evaluar la respuesta de clones de café (*Coffea arabica* L.) variedad Caturra a la inoculación con HMA en condiciones de campo, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Por lo anteriormente descrito, la presente investigación muestra el efecto de los HMA en las características morfológicas, fúngicas y fitosanitarias de las plantas de café. De manera paralela, se evaluó un posible comportamiento de tolerancia y resistencia a partir de la evaluación de la incidencia y severidad de la roya amarilla en los clones de café, mostrado por las plantas madres que en su momento no fueron afectadas por esta enfermedad. Por consiguiente, se busca mejorar los índices de productividad a través de la utilización de tecnologías limpias y disminuir los daños causados por la roya amarilla, contribuyendo a mejorar el nivel de ingresos económicos de las familias caficultoras de Amazonas.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

El ensayo se instaló en el caserío Miraflores, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas. Geográficamente la parcela experimental se encuentra situado a $06^{\circ}26.202''$ de latitud sur y $77^{\circ}31.467''$ de longitud oeste a una altitud de 1 675 m.s.n.m. (Figura 1).

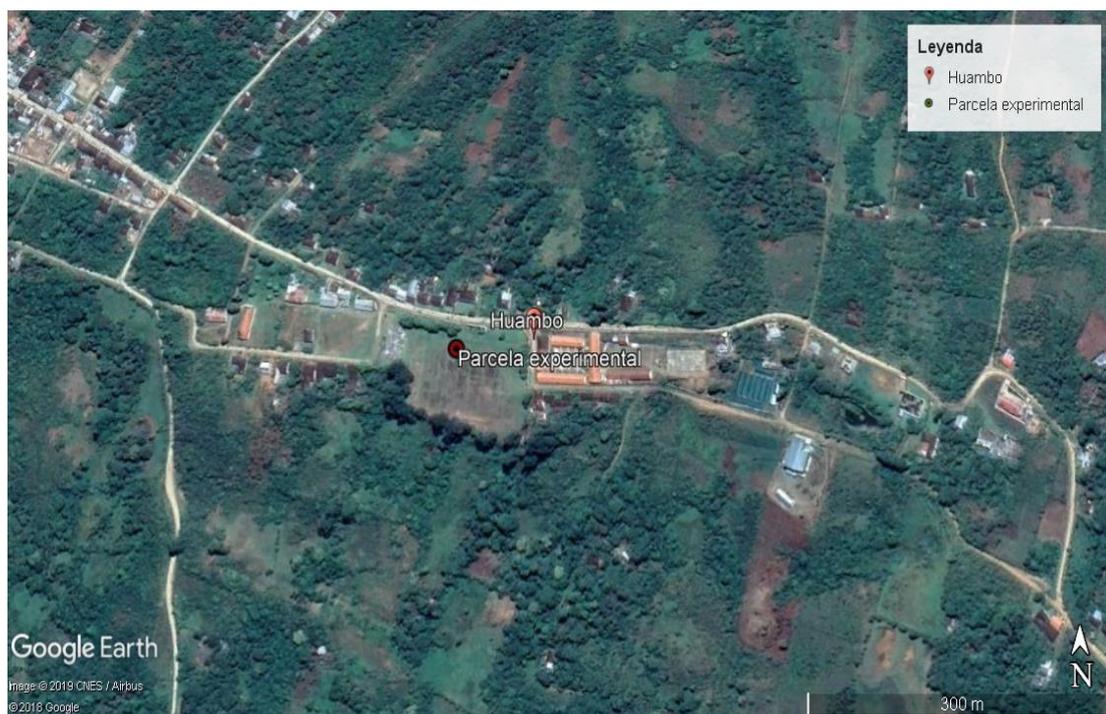


Figura 1. Imagen satelital de la parcela experimental en Huambo, provincia de Rodríguez de Mendoza, Amazonas (Google earth, 2018).

2.2. Características del suelo y ambientales de la zona

2.2.1. Características del suelo

Las muestras de suelo del área de estudio fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina UNAM-L. Los resultados se presentan en el Anexo 1.

Según el análisis fisicoquímico del suelo (Anexo 1), el estudio se realizó en un suelo fuertemente ácido, de una textura entre arcillosa y franco arcilloso, correspondiendo a un suelo con alta capacidad de retención de agua y baja infiltración. Según el valor de la materia orgánica del suelo es alto, posee niveles deficientes de fósforo y un alto valor de potasio. El área de estudio mostró un alto porcentaje de saturación de aluminio. La capacidad de intercambio catiónico es alta con un valor de 35,84 a 36,64 meq/100 g.

2.2.2. Características ambientales

Para conocer las características ambientales, los datos meteorológicos se tomaron de manera referencial de la Estación Experimental del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), ubicada en la provincia de Rodríguez de Mendoza de Amazonas, donde se obtuvo la temperatura, precipitación y humedad relativa promedio mensual durante la ejecución de esta investigación (julio 2017 – abril 2018).

El clima de la zona de establecimiento de los clones de café presenta un clima tropical, con temperaturas promedio mensuales máximas de 19,3 °C (enero) y mínimas de 14,7 °C (septiembre). Asimismo, en el mes de noviembre se registró una alta humedad relativa promedio mensual de 89,2% respectivamente, mientras en el mes de enero disminuyó a 34%. Por otro lado, el mes más seco fue en noviembre con 37 mm y la mayor precipitación se dio en el mes de marzo con 207,8 mm (Tabla 1).

Tabla 1

Características ambientales registradas en la Estación Experimental del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) durante el periodo julio 2017- abril 2018

Mes-Año	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Precipitación (mm)
Julio-17	-	-	67
Agosto-17	-	-	82,2
Septiembre-17	14,7	88,5	118,1
Octubre-17	15,3	88,1	149,6
Noviembre-17	15,7	89,2	37
Diciembre-17	-	-	-
Enero-18	18,5	34,5	170,7
Febrero-18	19,3	38,7	172,5
Marzo-18	18,7	36,6	207,8
Abril-18	17,9	34,9	103,4

Fuente: Estación Experimental del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) (Julio 2017 – Abril 2018).

2.3. Factores en estudio

Los factores estudiados estuvieron conformados por tres inóculos eficientes y un inóculo in situ y dos dosis de compost comparados con un tratamiento control sin compost. El inóculo estuvo compuesto por: a) Inóculo nativo (IN), b) Inóculo 1-San Nicolás (1SNI), c) Inóculo 10-Omia I (10OV) y d) Inóculo 11-Omia II (11OVI) (Tabla 2). En el factor dosis de compost se emplearon tres niveles: 1) 0 g, 2) 100 g y 3) 200g (Tabla 2). La combinación de estos niveles genera 12 tratamientos que fueron dispuestos en un diseño estadístico de Bloques Completos al Azar (DBCA) en 3 bloques (Tabla 2).

Tabla 2*Descripción de tratamientos de estudio/Rodríguez de Mendoza/Amazonas*

A. Inóculo	B. Dosis de compost*	Tratamiento	Descripción
Inóculo nativo (IN)	D1	T1	IN/sin compost
	D2	T2	IN + 100 g compost
	D3	T3	IN + 200 g compost
Inóculo 1-San Nicolás (1SNI)	D1	T4	1SNI /sin compost
	D2	T5	1SNI + 100 g compost
	D3	T6	1SNI + 200 g compost
Inóculo 10-Omia I (10OV)	D1	T7	10OV/sin compost
	D2	T8	10OV + 100 g compost
	D3	T9	10OV + 200 g compost
Inóculo 11-Omia II (11OVI)	D1	T10	11OVI/sin compost
	D2	T11	11OVI + 100 g compost
	D3	T12	11OVI + 200 g compost

*D1=0 g, D2=100 g y D3=200g

Fuente: Elaboración propia (2017)

2.4. Diseño experimental

La investigación fue de tipo experimental, para la cual se utilizó un diseño estadístico en Bloques Completo al Azar (DBCA) de arreglo factorial: 4A (Inóculo) x 3B (Dosis de compost) con tres repeticiones (bloques), el cual tiene el siguiente modelo estadístico:

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varphi_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = representa la respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente al k-ésimo bloque a la cual se le aplicó el i-ésimo nivel del factor A, con el j-ésimo nivel del factor B.

μ = representa a la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor A.

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = es el efecto de la interacción entre el i-ésimo nivel del factor A con j-ésimo nivel del factor.

ϕ_k = es el efecto del k-ésimo bloque.

ϵ_{ijk} = es el efecto aleatorio de variación.

Para $i= 1, 2, 3, 4$ niveles del factor A (Inóculo), $j= 1, 2, 3$ niveles del factor B (Dosis de compost), $k=1, 2, 3$ bloques.

2.5. Descripción del área de la parcela experimental

El área total del ensayo fue de 2 500 m² con dimensiones en sus lados del terreno de 50 m x 50 m. Los plántones (clones) de café variedad Caturra se establecieron en la parcela experimental, con distancias de 1,80 m entre hileras y 1,50 m entre plantas, con 2,40 m entre bloques. La parcela experimental antes de la instalación del ensayo se encontraba en barbecho y cabe mencionar que no se utilizó ningún tipo de sombra para la siembra de las plantas de café.

2.6. Conducción del experimento

2.6.1. Obtención de plántones (clones) de café variedad Caturra

La metodología que siguieron los responsables para la clonación de café fue de acuerdo al trabajo realizado por Vallejos-Torres *et al.* (2016), la cual se detalla a continuación:

- **Selección de plantas madres de café.** Las plantas madres de café que se seleccionaron, presentaron adecuadas características agronómicas, productivas, sanitarias y un porcentaje de granos vanos menor al 8%, tal como se aprecia en la Tabla 4 (Fernández, 2017).

Tabla 3*Características de las plantas madres de café*

Agronómicas	Productivas	Sanitarias
Flexibilidad de tallos	Alta productividad	Libre de enfermedades
Longitud de entrenudos	Pocos frutos vanos	Tolerancia a plagas
Arquitectura de planta (varios tallos)	Maduración uniforme	

Asimismo, sólo se consideraron plantaciones mayores de 3 años (parcelas productivas), y aquellas que durante los años 2012 y 2013 no fueron afectadas o mostraron tolerancia a la roya amarilla, seleccionándose de acuerdo a la escala propuesta por Horishi *et al.* (2009). Posteriormente las plantas fueron codificadas y su ubicación fue geo-referenciada.

Tabla 4*Escala de resistencia a las poblaciones de roya (Horishi et al., 2009)*

Escala	Descripción
1	Árboles sin lesiones cloróticas en las hojas
2	Árboles con lesiones cloróticas en las hojas sin esporulación
3	Número de lesiones en la hoja con esporas de roya entre 1 a 10 y frecuencia de las hojas con esporas de roya entre 1 y 10%
4	Número de lesiones en la hoja con esporas de roya entre 11 a 20 y frecuencia de las hojas con esporas de roya entre 11 y 35%
5	Más de 20 lesiones con esporas de roya y más de 35% de hojas con esporulación

- **Inducción de plantas madre de café.** Para realizar la inducción de las plantas madres de café; se limpió alrededor de la planta y mediante la técnica del agobio se inclinó la planta en un ángulo de 45° respecto al suelo,

con dirección de este a oeste, introduciendo un gancho en el suelo para mantener inclinada a la planta, evitando que se vuelva a su posición normal. Luego se eliminó las ramas plagiotrópicas.

Por otro lado, se tuvo en cuenta que la planta inducida presentase radiación solar todo el día, de tal manera que se estimule a la producción de brotes ortotrópicos, por el efecto de la inclinación.

- **Colecta de brotes de las plantas madres de café.** Los “brotes o clones” se colectaron después de 3 meses de la inducción. El procedimiento de la colecta fue el siguiente: con la ayuda de una tijera de podar (limpia) se cortó brotes de 10 cm aproximadamente y se colocó en bolsas de papel. Posteriormente, los brotes se llevaron al laboratorio para su proceso de enraizamiento.
- **Enraizamiento de brotes.** Se hizo una selección de brotes, que consistió en separar brotes que llegaron de campo con daños mecánicos y desecados. Luego, se uniformizaron a 7 cm de longitud y se sumergieron en una solución fúngica de Antracol 70% PM a una concentración de 3 g por 1 litro de agua durante un periodo de 10 minutos.

Después de los 10 minutos, mediante el método de inmersión rápida se introdujo la parte basal de los brotes en una solución de hormona Ácido Indol Butírico (AIB) 2 000 ppm (0,2 g de AIB diluido en 100 ml de alcohol 96°) contenida en una placa Petri (1 a 2 segundos), dejándoles reposar por 20 segundos para volatilizar el exceso de alcohol.

- **Siembra de los brotes.** Para la siembra de brotes, se utilizó como sustrato pellets Jiffy® de 50 x 95 mm, el cual anteriormente se hidrató con abundante agua durante un periodo de 15 minutos, para que alcance su máximo volumen. Luego, se depositaron 50 Jiffys® en una bandeja liviana, haciendo pequeños hoyos a una profundidad de 2 cm, para la introducción de los brotes.

Para la siembra de los brotes se colocó el brote dentro de cada hoyo y se presionó con los dedos alrededor del brote, con el objetivo de darle estabilidad con el sustrato. Finalmente, éstos se llevaron a los microtúneles para su enraizamiento.

- **Microtúnel de enraizamiento.** Para el proceso de enraizamiento se utilizó un microtúnel de 3 m de largo por 1,5 m de ancho y 0,6 m de altura, con una estructura conformada por un marco de hierro soldado (1/2”), colocado en forma horizontal y arqueada para dar la forma de microtúnel, forrado con plástico transparente de polietileno dentro y fuera. La base del microtúnel presentó soporte de hierro con malla metálica, para el depósito de las bandejas donde se colocaron los brotes.

Asimismo, el microtúnel contaba con 3 nebulizadores para el riego, y drenes para evitar el exceso de agua dentro de este.

Se realizó la limpieza y desinfección de los microtúneles con la finalidad de evitar cualquier tipo de contaminación al recibir los brotes colectados de café a ser enraizados. El enraizamiento de los brotes se obtuvo a los 2 meses.

- **Repique de los clones de café.** Los brotes enraizados se sacaron de los Jiffys® y se colocaron en bolsas de vivero (5 x 8”), los cuales estaban llenados con arena de río y tierra agrícola estériles en proporción 1:2 volumen/volumen respectivamente.
- **Aclimatización de brotes en vivero.** Las plántulas de café se colocaron en el vivero con sombra de 80% por un periodo de 15 días y después se pasaron a otra área del vivero con sombra de 50% (15 días), llevándolas por último durante un mes a la luz plena del sol. Finalmente, estos plantones con siete meses de edad se llevaron a campo definitivo para la instalación de esta investigación.

2.6.2. Obtención de fuentes de inóculos de HMA

Los inóculos 1SIN, 10OV y 11OVI, utilizados en el presente estudio fueron los que presentaron mejor comportamiento a nivel de vivero, trabajados por Sánchez-Santillán (2017). Estos inóculos se colectaron de las parcelas de café identificadas en la provincia de Rodríguez de Mendoza (1SNI-San Nicolás, 10OV-Omia 1 y el 11OVI-Omia 2) a una profundidad de 0 a 15 cm, separadas a 30 cm del tallo principal de las plantas de café. Por cada parcela se colectó 40 kg de suelo, el cual sirvió como fuente de inóculo.

Luego, estas muestras de suelo colectadas se llevaron al vivero de la estación experimental INDES-CES, donde se mezcló con arena esterilizada a una proporción de 40:60 (fuente de inóculo: arena) respectivamente.

Finalizado este proceso, la mezcla obtenida se colocó en los cajones multiplicadores de HMA, poniéndose entre 25 a 35 kg de sustrato por cajón. Para la multiplicación de esporas de los HMA, se empleó una planta “trampa” susceptible a la micorrización como lo es el maíz *Zea mays*, mediante el siguiente procedimiento:

- **Multiplicación de los HMA.** En cada cajón se hizo 5 surcos, separados a 10 cm entre ellos; y se sembró 18 semillas/surco, las cuales se taparon y regaron con agua. Después de la siembra, se fertilizó con una mezcla de 10 g de urea + 10 g de fosfato diamónico + 10 gramos de cloruro de potasio. Luego, a los 30 y 45 días se fertilizó nuevamente, aplicándose 40 g de urea por cajón.

A los 60 días después de la siembra se suspendió el riego generando estrés hídrico en las plantas de maíz, con el fin de estimular la multiplicación de esporas de los HMA. Transcurrido los 20 días después de la suspensión de riego, se cortó el maíz a ras del suelo, donde finalmente se evaluó la cantidad de esporas viables contenidas en el sustrato de las raíces del maíz. La cuantificación de esporas de HMA se realizó en el laboratorio del IIAP - San Martín.

- **Cuantificación de esporas de HMA.** La cuantificación de esporas de HMA, se realizó utilizando la técnica del tamizado y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguida por una centrifugación en sacarosa (Daniels y Skipper, 1982), con modificaciones por el IIAP, teniendo como procedimiento lo siguiente:

Se pesó una muestra de 10 g de suelo seco y se colocó en una placa petri etiquetada. Luego, la muestra de suelo se depositó en un envase de plástico de 3 L y se agregó agua en 80% de su capacidad. La mezcla se agitó durante 20 segundos y se la dejó reposar por un periodo de 30 segundos.

Posteriormente, la mezcla obtenida se vertió por tamices con luz de malla de 250 y 38 μm , repitiendo cinco veces el mismo procedimiento y descartando el sobrante. Posteriormente se lavó cada tamiz y lo retenido en el segundo (38 μm) se colocó en un tubo falcon, el cual contenía 20 ml de azúcar al 20% y 10 ml de azúcar al 60% en concentración peso/volumen.

La muestra contenida en el tubo falcon se centrifugó a 350 rpm/ 3,5 minutos, con el fin de precipitar las partículas de suelo y suspender las esporas hasta la interface entre los dos azúcares. Finalizado este proceso, los tubos falcon se retiraron de la centrifuga y el contenido se colocó en el tamiz con luz de malla de 38 μm , para ser lavados con agua corriente y eliminar la sacarosa, dejando solamente las esporas, las cuales fueron transferidas a una placa Petri.

Por último, las muestras de esporas obtenidas fueron llevadas a un estéreo microscopio, donde fueron observadas y cuantificadas a un aumento de 4,5X.

En la Tabla 5, se muestra los resultados de la evaluación del número de esporas multiplicadas en plantas de maíz y la cantidad de inóculo utilizado para la inoculación con 3 000 esporas a los plantones (clones) de café.

Tabla 5

Cantidad de inóculo utilizado para la inoculación con 3 000 esporas de HMA a los plantones (clones) de café

	Inóculo					
	1SNI		10OV		110VI	
Cantidad de inóculo (g)	10.00	340.90	10.00	461.53	10.00	348.83
N° de esporas	88	3000	65	3000	86	3000

Fuente: Laboratorio del IIAP - San Martín (2017)

2.6.3. Instalación de los clones de café en la parcela experimental

Reconocimiento de la parcela. Se hizo el reconocimiento de la parcela, evaluando la clase textural, pendiente, drenaje y radiación solar para el buen crecimiento y desarrollo de los plantones (clones) durante la ejecución de la investigación.

Evaluación del número de esporas de HMA propios de la parcela. Se realizó una evaluación inicial a la parcela para conocer la cantidad de esporas presentes en el suelo. Esta evaluación se realizó utilizando la técnica del tamizado y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguida por una centrifugación en sacarosa (Daniels y Skipper, 1982), con modificaciones por el IIAP. De acuerdo a los resultados, se encontró un total de 553 esporas por cada 10 g de suelo.

Limpieza de parcela. Se realizó la limpieza de la parcela con motoguadaña y machete, donde se cortaron las hierbas, arbustos y árboles. Posterior al cortado de la purma, se procedió a realizar el picacheado (cortes pequeños del desmonte), para facilitarnos que el secado sea más rápido. Luego, se realizó el amontonado del desmonte y se sacó a los bordes.

Trazado. Para el trazado, primero se realizó el alineamiento con jalones alrededor del perímetro de la parcela. Luego se hizo el trazado de los bordes con estacas y cordel, en el cual se colocaron con un martillo estacas de 0,50 cm. El colocado de las estacas se realizó con distanciamientos de 1,50 m de ancho x 1,80 m de largo.

Durante el trazado se tuvo en cuenta la distribución de los bloques y tratamientos, para el cual se colocó estacas en el borde de cada bloque, dejando un espacio entre bloques de 2,40 m (calles). Cuando todos los bordes estuvieron estaqueados con las medidas correspondientes se procedió al colocado del cordel en forma vertical y horizontal de tal forma que queden intersectados y cada punto de intersección determinó un punto para el hoyado.

Apertura de hoyos. Se cavaron hoyos de dimensiones de 20x20x30 cm de profundidad, colocando la tierra superficial (15 cm) a un costado y la del fondo al otro costado, donde al momento de instalar el plantón se colocó el sustrato superficial en la base del hoyo (Marin-Ciriaco, 2012). En total se hicieron 576 hoyos.

Trasplante de los plantones (clones) de café. Se instalaron en campo definitivo un total de 576 plantones de café, previa selección de las mejores plantas (vigorosas y libres de plagas y enfermedades), mediante el siguiente procedimiento (Marin-Ciriaco, 2012):

- Con la ayuda de una lampa se mezcló uniformemente la primera capa del suelo y se llenó el hoyo.
- Se cortó la base del plantón a 2 cm aproximadamente, luego se quitó la bolsa cuidando que la tierra no se desmorone. Después se colocó en el centro del hoyo cuidando que la raíz quede vertical y recta para un buen desarrollo de la planta.
- Posteriormente, se aplicó los inóculos con un recipiente limpio previamente calibrado con sus respectivos pesos (Tabla 5), poniéndose en la parte superficial del pan de tierra y alrededor del hoyo, buscando poner en contacto directo las esporas de los HMA con las raíces de los plantones de café. La cantidad de inóculo aplicados a los plantones contenían 3 000 esporas de los HMA (Tabla 5).

- Finalmente, se adicionó tierra hasta el ras del cuello de la planta y se aplastó bien los lados para evitar espacios de aire alrededor de la misma.

Aplicación de compost. El compost se aplicó realizando una banda alrededor de cada planta de café. La cantidad de compost utilizada fue de acuerdo a las dosis evaluadas en los tratamientos en estudio (Tabla 2).

Control de malezas. Para el buen desarrollo de las plantas se efectuó cada dos meses el control de malezas, utilizando para ello un machete o motoguadaña (Marin-Ciriaco, 2012).

2.6.4. Análisis de datos

Se desarrolló un análisis de varianza con un nivel de significancia de $p < 0,05$ probabilidad de error para determinar la naturaleza de las diferencias entre bloques y tratamientos (Padron, 1996).

Para el análisis de varianza, los datos encontrados se sometieron a la evaluación del supuesto de normalidad (Diz, 2008) y al supuesto de homogeneidad (Font, 2007). Los datos de número ramas y número de esporas producidos por los HMA fueron transformados a \sqrt{x} (Díaz, 1991); mientras que para los datos de la colonización micorrízica, incidencia y severidad de la roya amarilla (*H. vastatrix*) se utilizó la transformación angular $\arcsen \sqrt{y}$ (Box y Hunter, 1989). Con los datos obtenidos se realizó el análisis de variancia, utilizando para la comparación de las medias la prueba de Tukey con nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

2.7. Evaluación de variables

2.7.1. Variables morfológicas

Altura de planta (AP). Se tomaron registros de altura de planta a los 10 meses después del trasplante de los plántones de café en campo definitivo, realizando las mediciones desde el nivel del suelo hasta el ápice del tallo principal de la planta (Plaza *et al.*, 2016). Para la evaluación se utilizó una regla milimetrada de 100 cm. El material de medición fue desinfectado con alcohol al 96%, para evitar la contaminación entre tratamientos (Del Aguila *et al.*, 2018).

Diámetro de tallo (DT). El diámetro de tallo se registró a los 10 meses después del trasplante de los plántones en campo definitivo. La evaluación de este parámetro se efectuó con un calibrador tipo vernier, tomándose este dato a 5 cm sobre el nivel del suelo. Los resultados fueron expresados en mm (Plaza *et al*, 2016).

Número de ramas (NR). Esta actividad se realizó contando la cantidad de ramas que tiene cada plánton de café, de tal manera que se vea el efecto de los HMA en los plántones de café bajo condiciones de campo. Las ramas fueron contadas con mucho cuidado para evitar confundirse y lastimar las plantas (Plaza *et al*, 2016).

2.7.2. Variables fúngicas

Determinación del porcentaje de colonización micorrízica. Se adquirieron 30 raíces jóvenes (secundarias y terciarias) de las plantas de café. Estas raíces se colectaron a 10 cm del tallo principal de la planta (tres puntos diferentes) y se depositaron en un tubo falcon de 50 ml. Luego, estas muestras se colocaron en tubos de ensayo en una solución de alcohol al 70% y se envolvieron con cintas parafilm para que no se volatilice el alcohol y se consiga una buena conservación. Estas muestras se trasladaron al laboratorio del IIAP – San Martín, donde los tubos de ensayo se colocaron en una refrigeradora a 4 °C por un periodo de 12 horas para el proceso de tinción de raíces.

Tinción de raíces. Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Phillips y Hayman (1970) con modificaciones, tal como se describe a continuación:

- Las raíces se colocaron en tubos de ensayo, dentro de una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% de concentración en peso/volumen, hasta cubrir la muestra por un periodo de 24 horas. Transcurrido el tiempo, fueron colocadas en baño maría a 90 °C durante 30 minutos, con la finalidad de remover el contenido citoplasmático y aclarar el tejido cortical.
- Posteriormente, las raíces se lavaron tres veces con agua corriente y se dejaron a temperatura ambiente en agua oxigenada durante 90 minutos, para realizar el aclarado de los pigmentos de la raíz. Finalizado los 90 minutos,

las raíces se lavaron con vinagre blanco para acidificar las muestras y prepararlas para la tinción.

- Después las raíces fueron sumergidas en tinta azul de trypano al 0.25% en concentración peso/volumen y luego se colocaron en baño maría a 90 °C durante 60 minutos. Las muestras de raíces se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 10 minutos e inmediatamente se lavaron tres veces con vinagre al 50%, para eliminar el exceso de la tinta. Finalmente, las raíces teñidas fueron conservadas en vinagre, hasta que se realice el proceso de montaje de raíces.

Estimación del grado de colonización micorrízica. La determinación del grado de colonización micorrízica fue calculada utilizando la metodología propuesta por Trouvelot *et al.* (1986): En una lámina portaobjetos se colocaron 30 fragmentos de raíz teñidas de 1 cm, siendo colocadas verticalmente en paralelo una a continuación de otra. Luego se agregó una gota de lactoglicerol cada 10 raíces a fin de mantenerlas húmedas y se cubrieron con una laminilla cubreobjetos. Después las raíces montadas se observaron en un microscopio a un aumento de 10X.

La evaluación se realizó a cada segmento de raíz, asignándole un porcentaje correspondiente a la colonización micorrízica de acuerdo a las siguientes categorías (Figura 2).

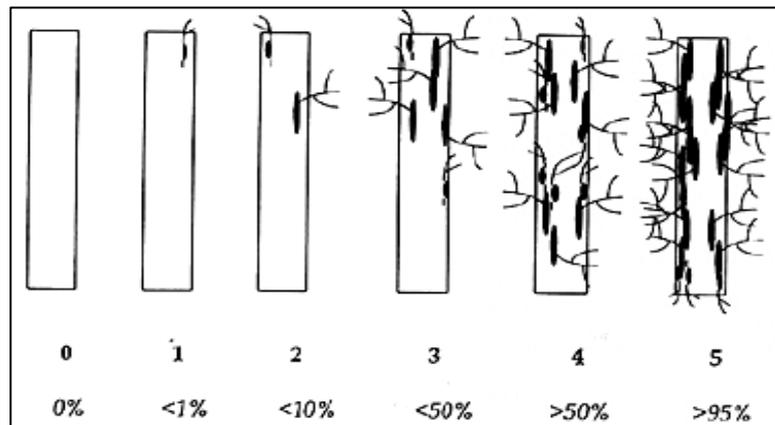


Figura 2. Niveles de colonización (0-5) de HMA según el grado, método de Trouvelot *et al.* (1986), para el cálculo de la colonización en el sistema radicular.

Finalmente, para el cálculo de la intensidad de la colonización en el sistema radicular se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%M = (n1 + 5(n2) + 30(n3) + 70(n4) + 95(n5))/N$$

Donde:

n1 = número de fragmentos clasificados como 1 (<1%)

n2 = número de fragmentos clasificados como 2 (<10%)

n3 = número de fragmentos clasificados como 3 (<50%)

n4 = número de fragmentos clasificados como 4 (>50%)

n5 = número de fragmentos clasificados como 5 (>95%).

Determinación de la longitud de micelio extraradical (MER). Para la determinación del MER se colectaron 10 g de suelo, de tres puntos diferentes, a una distancia de 30 cm del tallo principal de cada planta de café. Las muestras de suelo se recogieron a una profundidad de 15 cm y se introdujeron en bolsas Ziploc con cierre hermético. En el laboratorio, las muestras de suelo se colocaron en papel bond A4 y se secaron a temperatura ambiente.

Tinción de micelio extraradical. Este procedimiento se desarrolló mediante la técnica del gel semisólido y cuantificación por el método de intersección de cuadrantes (Robles, 2009) con el siguiente procedimiento:

- En una balanza analítica se pesó un 1 g de suelo seco y se colocó en un vaso precipitado de 250 ml, en el cual se agregó 5 ml de vinagre blanco para dispersar los agregados del suelo y acidificar los segmentos de micelios.
- Luego se añadió 20 ml de solución de tinta “Artesco” al 15% disuelto en ácido acético y se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente. Transcurrido los 30 minutos, se agregó agua destilada al vaso precipitado hasta completar los 100 ml.
- Posteriormente las muestras de suelo fueron colocadas en baño maría a 90 °C por un periodo de 90 minutos, siendo esta agitada cada 30 minutos.

- Cumplido los 90 minutos las muestras de suelo tratadas fueron pasadas por un tamiz de malla de 38 μm . El material restante en el tamiz se depositó en el mismo vaso precipitado y se agregó 30 ml de agua destilada.
- A continuación, estas muestras de suelo se colocaron por segunda oportunidad en baño maría (90 °C) por un minuto y se agregaron 70 ml de agar-agar al 0,64% en concentración peso/volumen, lo cual se dejó reposar por 5 minutos, logrando una concentración final de 0,45% de la solución.
- Finalizado los cinco minutos, las muestras se agitaron con una jeringa de 20 ml con el fin de mezclarlo completamente. Finalmente se tomaron 10 ml de la solución y se colocó en una placa petri, la cual previamente estaba cubierta en la base por una rejilla de papel cuadriculada de 0,5 cm², para realizar la cuantificación intersección de Hifa-Línea.

Estimación de la longitud de micelio extraradical. Las muestras dispuestas en las placas petri fueron observadas en un estéreo microscopio a 4,5X y con ayuda de un contómetro se cuantificó las intersecciones Hifa-Línea. El conteo de micelio se realizó en toda el área de la placa petri haciendo un desplazamiento vertical y en recorrido ordenado, cuidando que todas las intersecciones de las líneas tanto verticales como horizontales sean contabilizadas. La cantidad numérica obtenida se transformó a longitud de micelio por unidad de peso de suelo utilizando una fórmula propuesta por Newman (1966).

$$R = \frac{\pi AN}{2H}$$

Donde:

R = Longitud de micelio por unidad de peso de suelo

A = Área de la placa

N = Número de intersecciones

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

Cuantificación de esporas de hongos micorrízicos arbusculares. La cuantificación de esporas de HMA, se realizó utilizando la técnica del tamizado y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguida por una centrifugación en sacarosa (Daniels y Skipper, 1982), con modificaciones por el IIAP.

2.7.3. Variables fisiológicas

Determinación de la incidencia y severidad de roya amarilla. El muestreo para la evaluación de roya amarilla fue de la siguiente manera:

Por cada tratamiento se evaluó cuatro clones de café, siendo evaluadas las cuatro plantas centrales de cada tratamiento, mediante el efecto borde. Los datos registrados se obtuvieron a los 10 meses después del trasplante de los plantones en campo definitivo.

Incidencia de la roya del café. Para determinar el porcentaje de incidencia, se evaluó 10 hojas al azar de cada plantón de café, las cuales corresponden a la parte baja, media y alta del árbol, tratando de rodear la planta. El porcentaje de incidencia se obtuvo al deducir el número de hojas evaluadas versus el número de hojas afectadas por roya (Servicio Nacional de Sanidad Agraria [Senasa], 2012).

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{N^{\circ} \text{ hojas con roya}}{N^{\circ} \text{ hojas evaluadas}} \times 100$$

Severidad de la roya del café. Para determinar la severidad de la roya, se evaluó las 10 hojas tomadas para la determinación del porcentaje de incidencia. Los síntomas observados determinaron el grado de severidad de la enfermedad, según el porcentaje de daño causado en la hoja. En la Tabla 6, se presenta la escala de severidad en cada hoja, según los síntomas observados.

Tabla 6

Escala de severidad de la roya del café propuesta por Senasa (2012)

Grado	Descripción
0	Sano sin síntomas
1	1-5 % de área afectada
2	6-20 % de área afectada
3	21-50 % de área afectada
4	> 50 % de área afectada



0
Sano

1
(1-5%)

2
(6-20%)

3
(21-50%)

4
(>50%)

Figura 3. Escala de severidad en hoja propuesta por Senasa (2012).

III. RESULTADOS

3.1. Altura de planta (AP)

Los efectos de los inóculos micorrízicos en los clones de café fueron visualizados a partir de los 30 días después del trasplante a campo definitivo. Durante esta fecha y hasta los 10 meses después del trasplante, los tratamientos inoculados mostraron significativamente ($p < 0,05$) mayor altura de planta con respecto a los tratamientos no inoculados. Sin embargo, el tratamiento T10 no mostró diferencia significativa con respecto al tratamiento T2 (Figura 4).

Asimismo, como se observa en la Figura 4, el tratamiento T8 (inóculo 10OV) con 43,03 cm de altura, fue el que alcanzó un valor estadísticamente superior al resto de tratamientos. En segundo lugar, se encontraron a los tratamientos T12, T11 y T5; sin diferencias significativas entre sí, seguidos por los tratamientos T9, T4 y T6. Por el contrario, el tratamiento T1 (sin inóculo) fue el que obtuvo un menor valor de 27,93 cm, tal como se aprecia en la Figura 4.

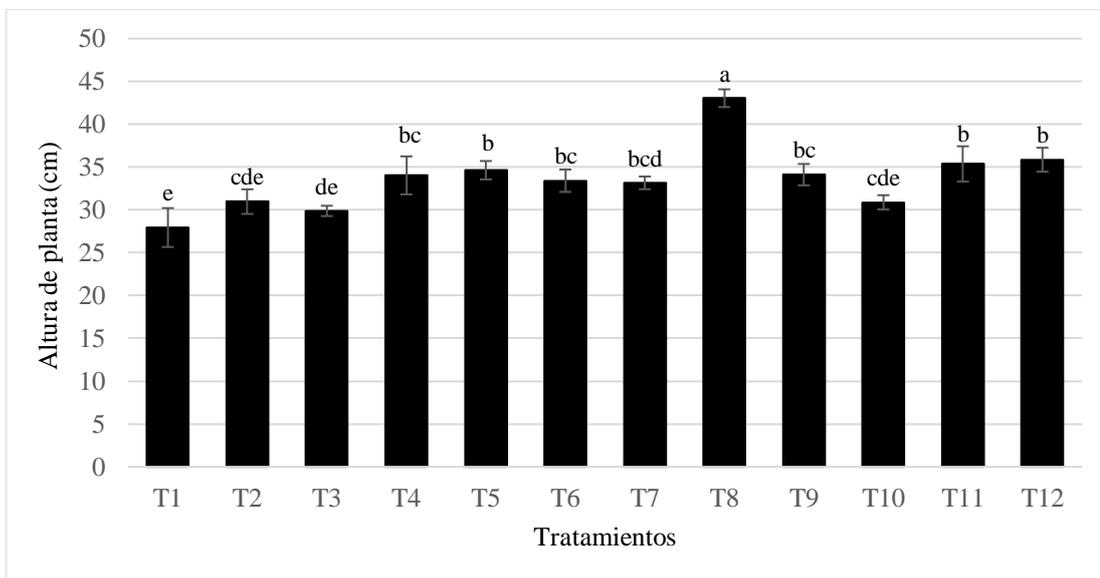


Figura 4. Altura de planta de los clones de café, alcanzado a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.2. Diámetro de tallo (DT)

En cuanto al diámetro de tallo alcanzado por los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo, se observó una respuesta variable en los diferentes tratamientos en estudio, ya que como se observa en la Figura 5, algunos de los tratamientos inoculados y no inoculados no mostraron diferencias estadísticas entre sí.

No obstante, fue el tratamiento T8 (inóculo 100V) el que obtuvo un valor superior en comparación al resto de tratamientos, seguido por los tratamientos T9, T5 y T6; con diferencias significativas entre sí. Este hecho evidencia que los tratamientos inoculados con los HMA y abonados con compost, alcanzaron mayor diámetro de tallo. Por otro lado, el tratamiento T1 (sin inóculo) fue el que alcanzó el menor diámetro de tallo con 9,59 mm, así como se muestra en la Figura 5.

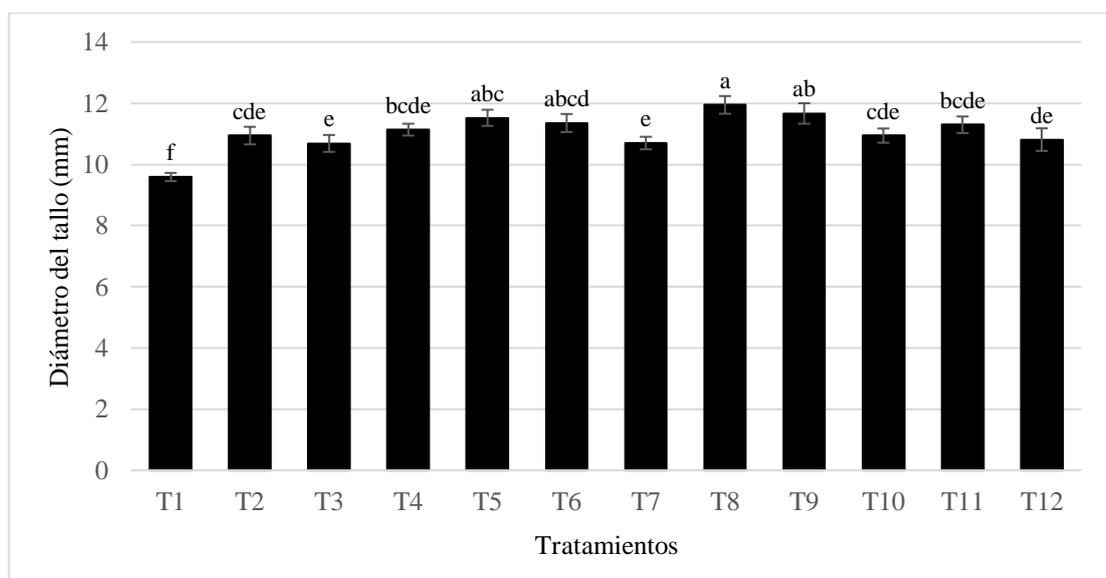


Figura 5. Diámetro de tallo de los clones de café, alcanzado a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.3. Número de ramas (NR)

Con respecto al número de ramas alcanzado por los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo, se encontró que el tratamiento T8 (inóculo 100V) con 18,50 ramas, fue el que obtuvo un valor numéricamente superior en comparación al resto de tratamientos. En segundo lugar se encontraron a los tratamientos T5, T11, T4, T12 y T6; sin diferencias significativas entre sí, seguidos

por el tratamiento T7. Por otro lado, fue el tratamiento T1 (sin inóculo) que obtuvo el menor valor, correspondiendo a este tratamiento un valor de 11,58 ramas, así como se muestra en la Figura 6.

Asimismo, con respecto al ANVA (Tabla 12) realizado se evidencia que existen diferencias significativas entre la interacción inóculo y dosis de compost (tratamiento). Estos resultados demuestran que la interacción de ambos factores muestra respuestas favorables en esta variable, pese a ello algunos de los tratamientos inoculados como los tratamientos T10 y T2 no mostraron diferencia estadística en comparación a los tratamientos no inoculados (Figura 6).

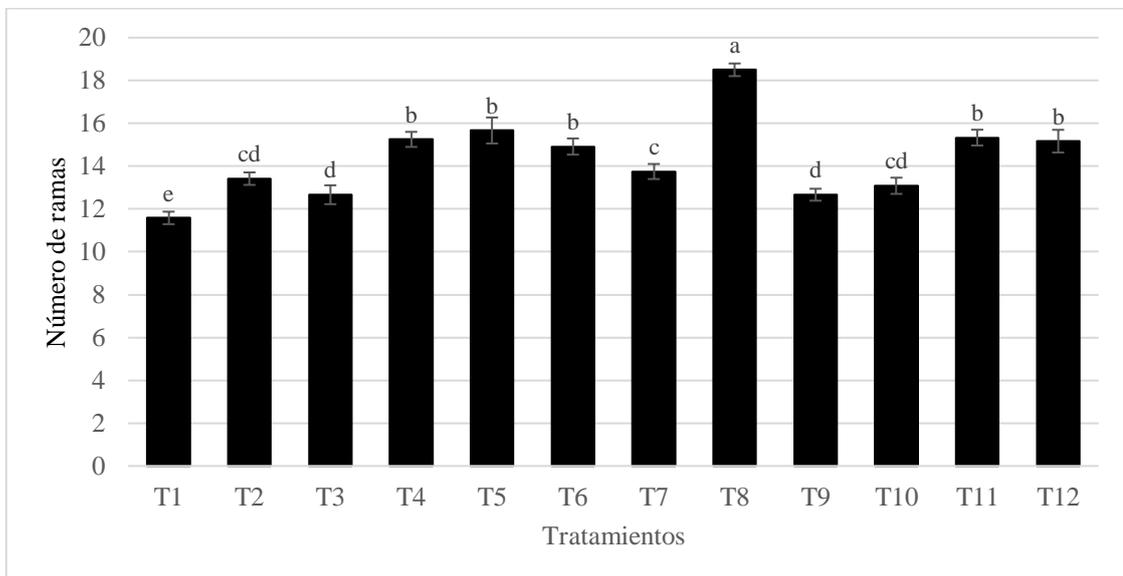


Figura 6. Número de ramas de los clones de café, alcanzados a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias provenientes de datos originales. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.4. Colonización micorrízica (%)

En cuanto a la intensidad de colonización de los HMA en el sistema radicular de los clones de café, evaluados a los siete meses después del trasplante en campo, se evidenció que existen diferencias estadísticas entre la interacción inóculo y dosis de compost (tratamiento) (Tabla 13).

Los valores más altos de colonización fueron obtenidos en las plantas inoculadas, donde fue el tratamiento T10 (inóculo 11OVI) con 16,19% que alcanzó valores estadísticamente

superiores al resto de tratamientos (Figura 7). En segundo lugar, se encontró el tratamiento T11, seguido por el tratamiento T2; con diferencias significativas entre sí. Sin embargo, los tratamientos no inoculados T1, T2 y T3; también reportaron colonización en las raíces de los clones de café, ya que, de acuerdo a la evaluación inicial realizada al suelo de la parcela en estudio, presentaba esporas de HMA. No obstante, los porcentajes más bajos fueron observados en las plantas no inoculadas. Por otro lado, la colonización micorrízica en las plantas no inoculadas variaron de 6,75 a 11,13%, atribuida a la colonización de los HMA nativos, tal como se muestra en la Figura 7.

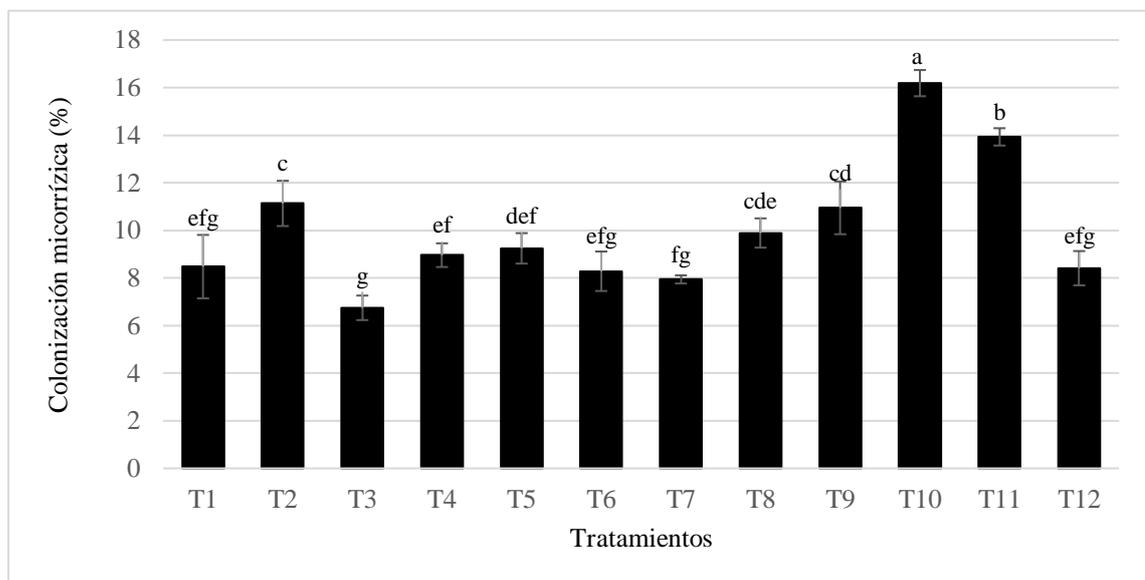


Figura 7. Colonización micorrízica (%) de los HMA presentes en los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Las medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.5. Longitud de micelio extraradical (MER)

Los valores de la longitud de micelio extraradical (MER) variaron de 66,11 a 134,43 cm, a los siete meses después del trasplante en campo (Figura 8).

En el análisis de variancia (Tabla 14) se encontró que existen diferencias significativas entre la interacción inóculo y dosis de compost (tratamiento), donde el tratamiento T8 (inóculo 10OV) con 134,43 cm fue el primer valor en MER, superando estadísticamente al resto de tratamientos, así como se muestra en la Figura 8.

Un segundo lugar lo integraron los tratamientos T2 y T7, seguido por los tratamientos T9 y T12; con diferencias estadísticas entre sí. Por otro lado, fue el tratamiento T1 (sin inóculo) que alcanzó los valores más bajos numéricamente de 66,11 cm (Figura 8).

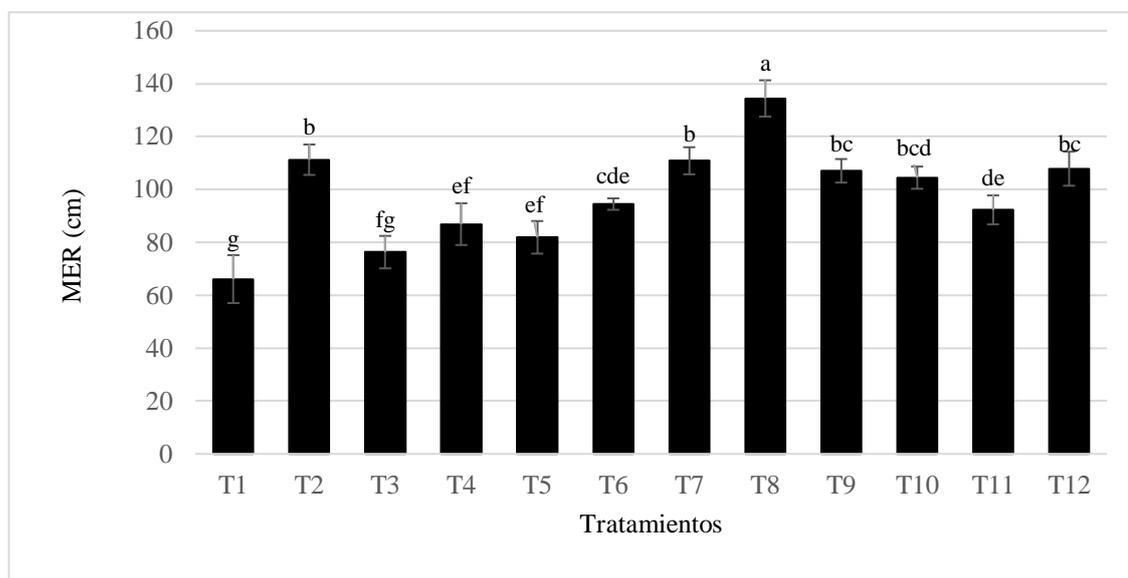


Figura 8. Longitud de micelio extraradical de los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.6. Número de esporas (NE)

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el número de esporas producidos por los HMA, donde los valores fluctuaron de 25,3 a 108,0 esporas en 10 g de suelo seco.

Según la Figura 9, se aprecia que los tratamientos T12 (inóculo 11OVI) y T8 (inóculo 10OV) fueron los que obtuvieron valores estadísticamente superiores en comparación al resto de tratamientos. En segundo lugar se encontró al tratamiento T8, seguido por los tratamientos T2 y T7. Por el contrario, fue el tratamiento T5 (inóculo 1SNI) quien obtuvo uno de los valores más bajos en esta variable (Figura 9).

En el ANVA (Tabla 15) se encontró diferencias significativas entre tratamientos, con un CV de 11,1%. Sin embargo, el análisis de varianza demuestra que no existe diferencia significativa entre bloques.

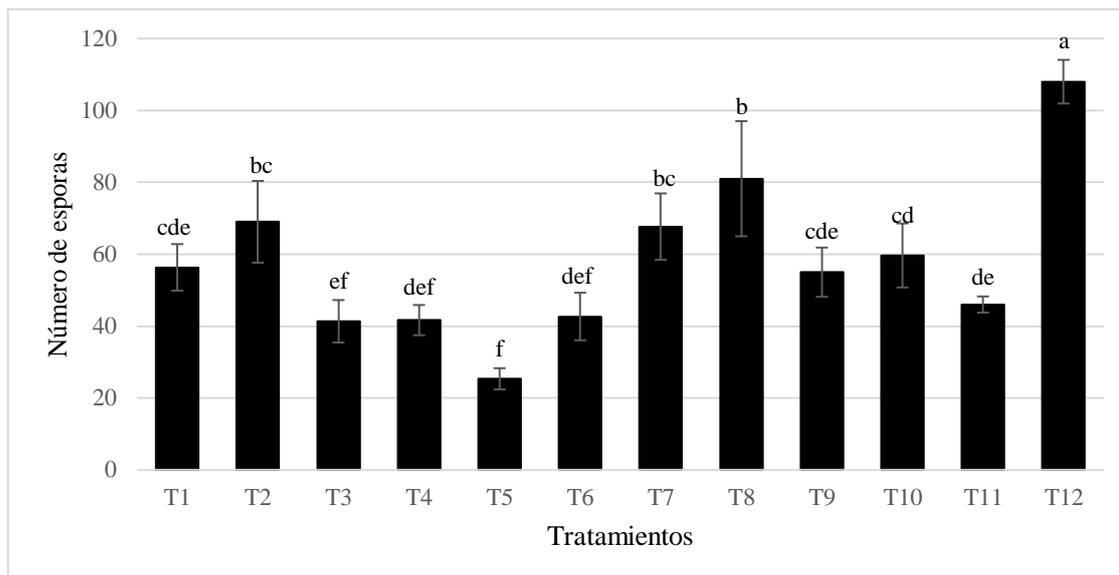


Figura 9. Número de esporas producidos por los HMA presentes en los clones de café, alcanzados a los 7 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.7. Incidencia de la roya amarilla (*H. vastatrix*)

Se observó la presencia de la roya amarilla (*H. vastatrix*) en todos los tratamientos estudiados, presentando sus primeros síntomas a los dos meses después del trasplante de los plántones de café en campo definitivo. La aparición de esta enfermedad se vio favorecida por las lluvias frecuentes, teniendo como fuente de inóculo inicial las plantas de café con roya cercanas al lugar de estudio.

Los resultados mostrados fueron recopilados a los 10 meses después del trasplante, donde los valores de la incidencia variaron desde 14,17% hasta 42,50% (Figura 10). Los tratamientos más afectados por la roya amarilla fueron el tratamiento T6 (inóculo 1SNI) y T7 (inóculo 10OV) con 42,50% y 36,67% respectivamente, mientras que los tratamientos T1 (sin inóculo) y T10 (inóculo 11OVI) tuvieron un menor porcentaje de incidencia de 14,17% y 19,17% en su orden, tal como se muestra en la Figura 10.

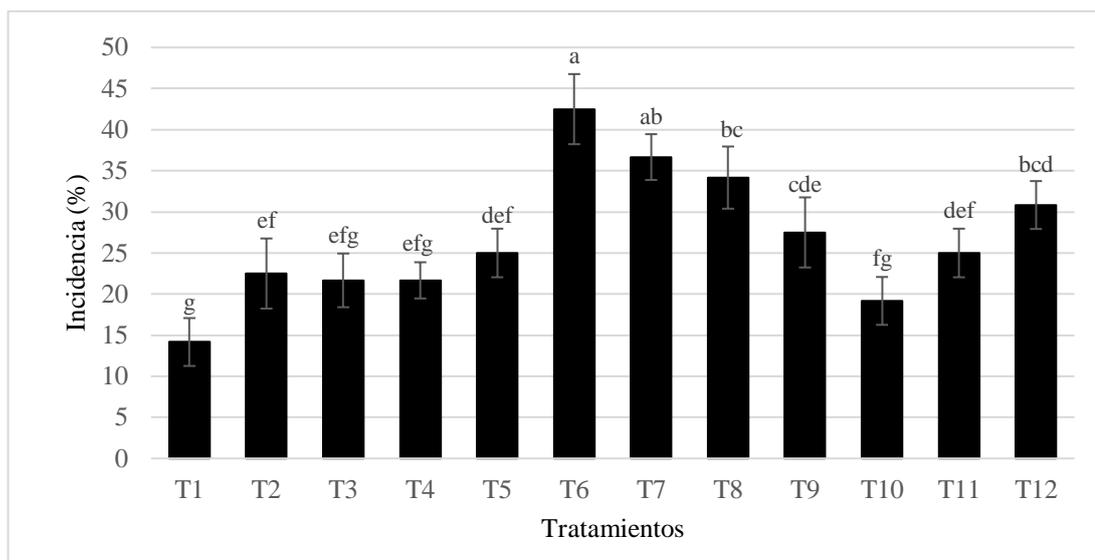


Figura 10. Porcentaje de incidencia producido por la roya amarilla (*H. vastatrix*), presentes en los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

3.8. Severidad de la roya amarilla (*H. vastatrix*)

Se registró el grado de daño de la roya amarilla a los 10 meses del trasplante en campo de los clones de café, donde los valores fluctuaron de 0,83 a 1,42 de severidad. Según la Figura 11, se observa un comportamiento variable entre los tratamientos, ya que algunos de los tratamientos inoculados con los HMA no presentaron diferencia significativa con respecto a los tratamientos no inoculados (Figura 11). Por otro lado, fueron los tratamientos T6 (inóculo 1SNI) y T8 (inóculo 10OV) los que alcanzaron valores numéricamente superiores al resto de tratamientos, siendo estos los más afectados por la roya amarilla. No obstante, el tratamiento T10 (inóculo 11OVI) obtuvo 0,83 grados de severidad, seguido por los tratamientos T2, T3, T4 y T11 con 0,92; sin diferencias significativas entre sí (Figura 11).

Por consiguiente, de acuerdo a los resultados encontrados el tratamiento T10 (inóculo 11OVI) es el que obtuvo una mejor respuesta a la inoculación con los HMA, evidenciándose valores inferiores al ataque de la roya amarilla, tal como se muestra en la Figura 11.

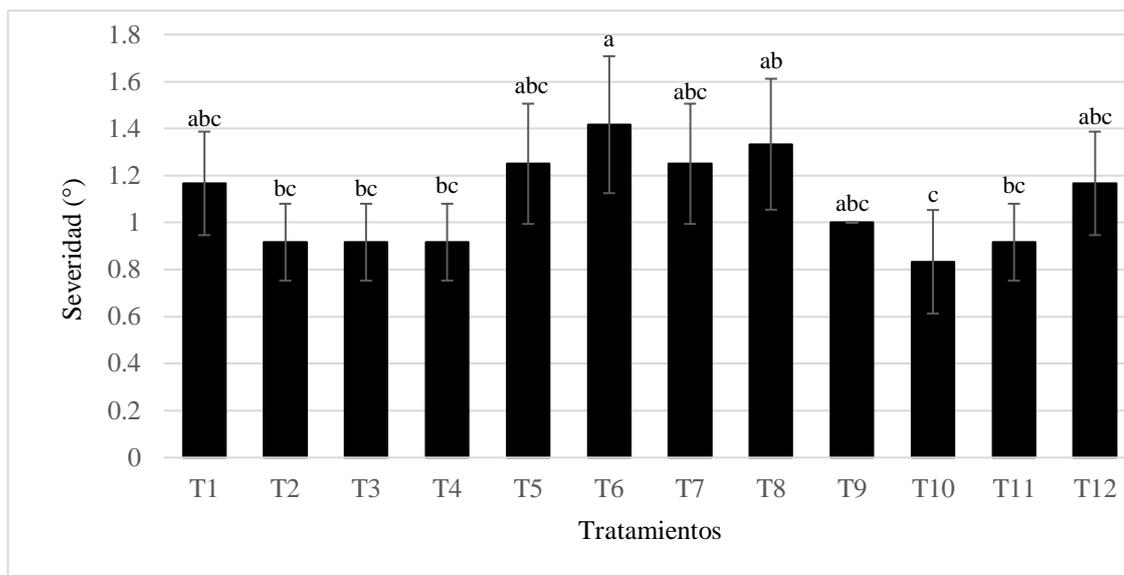


Figura 11. Severidad producida por la roya amarilla (*H. vastatrix*), presentes en los clones de café a los 10 meses después del trasplante a campo definitivo. Medias con letras diferentes difieren estadísticamente entre sí (Tukey $p < 0,05$).

IV. DISCUSIÓN

El gobierno peruano a través del Plan Nacional de Acción del Café Peruano promueve el crecimiento económico, equitativo, competitivo y sostenible basado en las potencialidades de desarrollo de cada territorio, facilitando su articulación al mercado nacional e internacional, y asegurando el aprovechamiento sostenible y conservación de los recursos naturales (Minagri, 2018). En este contexto es necesario desarrollar prácticas sostenibles y tecnologías de manejo agronómico que puedan ser adoptados por los caficultores para incrementar la productividad. Los HMA mejoran la capacidad de las plantas para aprovechar los nutrientes del suelo e influyen positivamente en el desarrollo y productividad de los cultivos (Andrade *et al.*, 2009), pero las comunidades de HMA difieren por efectos estacionales y la propia sucesión que se establece por la dinámica de esporulación entre las especies (Trejo *et al.*, 2011).

En ese sentido, las plantas de café que fueron inoculadas con HMA mostraron resultados beneficiosos, expresados en una mayor altura de planta y número de ramas, y en los parámetros fúngicos como la colonización micorrízica, longitud del micelio extraradical y número de esporas de HMA. Sin embargo, las plantas del tratamiento sin inóculo presentaron un buen resultado en la colonización micorrízica, pero tuvieron menor desarrollo en altura de planta y número de ramas en comparación a las plantas que recibieron los inóculos de

HMA. La colonización micorrízica en estas plantas se debió a la diversidad de HMA pre-existentes en el área en el que se instaló el experimento, pero al adicionar nuevas especies a través de inóculos colectados de plantas de café con alto rendimiento y tolerantes a la roya amarilla se incrementó la diversidad de HMA y se mejoró la respuesta en el desarrollo morfológico de las plantas inoculadas con HMA, debido a que la aplicación de micorrizas en los cultivos mejora la capacidad de absorción de nutrientes de las plantas (Gianinazzi *et al.*, 2010). Además, se observó diferencias significativas entre los inóculos de HMA utilizados en las distintas variables de evaluación, siendo el Inóculo 100V el que contaba con mayor diversidad de especies, y en consecuencia fue el que mostró mejores resultados. Este hecho se evidenció en el tratamiento T8, ya que fue este tratamiento que obtuvo valores superiores en comparación a los demás tratamientos. Resultados que concuerdan con lo establecido por, Trejo *et al.* (2011) y colaboradores quienes en experimentos de invernadero y de campo observaron diferencias significativas entre los consorcios utilizados en la promoción de altura de las plantas de café. Las diferencias observadas en las respuestas de los diferentes inóculos de HMA se debieron a que las diversas especies que conforman los inóculos producen efectos distintos debido a la especificidad ecológica y a la compatibilidad funcional entre los HMA y las plantas de café. Este hecho puede deberse a que las raíces de las plantas inoculadas con HMA captan con mayor eficiencia los nutrientes más allá de la superficie de contacto de la raíz con el suelo circundante (Lebrón *et al.*, 2012), traduciéndose en un mayor crecimiento vegetativo y por ende, aumentos significativos en los niveles de ciertos nutrientes esenciales en el tejido foliar (Ortas *et al.*, 2016).

Por lo anterior, se muestra que la simbiosis que establecen las plantas de café con los HMA facilita la absorción de agua y de iones minerales como P, N, K, Ca, Mg, Fe, Mn (Ruscitti, Arango y Beltrano, 2017) que favorecen a un mejor crecimiento de las plantas de café, lo cual conlleva a aumentos significativos en las variables morfológicas. Al igual que en el caso de la altura de planta y diámetro de tallo, el valor obtenido en la variable número de ramas también fue superior en el tratamiento T8, indicando que los factores estudiados, mostraron una respuesta positiva en esta variable. Estos resultados están directamente relacionados con longitud de micelio extraradical; debiéndose a que el micelio es el principal responsable de la absorción de nutrientes minerales que serán cedidos a la planta, especialmente aquellos de lenta difusión en la solución del suelo como son el fósforo, zinc, cobre y amonio (Smith y Read, 2008).

Estas respuestas positivas en los parámetros morfológicos se hicieron visibles desde los 30 días después del trasplante en campo definitivo. Durante esta fecha y hasta los 10 meses después del trasplante, los tratamientos inoculados siempre mostraron significativamente mayor promoción de altura de planta, ya que como menciona González-Osorio (2018) son muchos los registros del efecto benéfico de los HMA sobre el crecimiento, desarrollo y absorción de nutrientes en plantas de café (*Coffea spp.*), tanto en sus estados iniciales de desarrollo y como en su fase reproductiva.

Asimismo, en esta investigación se encontró que los inóculos micorrízicos utilizados fueron infectivos y colonizaron las raíces de los clones de café, donde los valores más altos en colonización micorrízica se obtuvieron en las plantas inoculadas con el inóculo 11OVI, mostrándose este acontecimiento en el tratamiento T10 con un valor de 16,19%, con estos resultados se aprecia que hubo una buena colonización de raíces por parte del tratamiento T10, aunque no necesariamente fue este mismo tratamiento que alcanzó mayor altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas; fundamentándose que el inóculo del tratamiento T8 es diferente al inóculo del tratamiento T10, lo cual pueden tener efectos distintos en las plantas de café. Como mencionan Klironomos *et al.* (2000) el efecto benéfico de los HMA (definido como efectividad) parece estar definido por la riqueza de especies y por la procedencia de su aislamiento. Así, algunos HMA pueden estimular el crecimiento, y otros pueden favorecer la absorción de nutrientes, inducir resistencia a fitopatógenos, o ayudar en la adaptación y tolerancia de las plantas ante condiciones de estrés (Hodge *et al.*, 2000).

Resultados similares en colonización micorrízica fueron encontrados por Hernández-Acosta *et al.* (2018) quienes registraron colonizaciones entre 15% y 34% alcanzado por el inóculo Zac-19. En cambio, estos resultados difieren a lo de Trejo *et al.* (2011) donde sus valores más altos de colonización fueron de 90,2%. No obstante, McGonigle *et al.* (1990) afirman que el porcentaje de la colonización por los HMA en las raíces del hospedante no determina la efectividad de los mismos.

Por otro lado, la longitud del micelio extraradical determina la presencia de los HMA en el suelo circundante a las raíces donde ocurre la simbiosis (Helgason y Fitter, 2009) y en este estudio, la mayor longitud del micelio extraradical se obtuvo en el tratamiento T8, lo que indica que los consorcios de HMA utilizados fueron capaces de establecer la simbiosis micorrízica con la plantas de café. Con esto se aprecia que el micelio extraradical no presentó

relación con el porcentaje de colonización, ya que el tratamiento que obtuvo mayor porcentaje de colonización micorrízica, no presentó los mismos resultados con el micelio extraradical, lo que explica que esta variable no depende del grado de colonización sino de la diversidad de especies que conforman los consorcios de HMA, tal como fue reportado por Del Águila *et al.*, (2018).

Asimismo, los resultados encontrados en cuanto a la longitud del micelio extraradical pudo estar influenciado por la humedad del suelo y aireación (Hermard *et al.*, 2002), ya que según el análisis de suelo realizado a la parcela en este estudio presentó una textura entre arcilloso y franco arcilloso (Análisis de suelos/Laboratorio de la UNAM-L); donde se presume que el micelio cesa su crecimiento en suelos con baja circulación de oxígeno, debido a que la mayoría de estos hongos micorrízicos son aeróbicos. En efecto, la formación micorrízica se inhibe en suelos arcillosos debido a la dificultad de las raíces para penetrar en este, así como también por una pobre aireación (Hermard *et al.*, 2002).

Otro punto importante a resaltar es que existe una relación entre la longitud del micelio extraradical y el desarrollo morfológico de las plantas de café, confirmando lo reportado por Del Águila *et al.*, (2018), quienes reportan que la función nutricional de las plantas se lleva a través del micelio extraradical, logrando así influir favorablemente en el crecimiento de las plantas.

El mayor número de esporas producidas por los hongos micorrízicos en los clones de café, se encontraron en el tratamiento T12, las diferencias encontradas con el tratamiento que alcanzó el mayor porcentaje de colonización micorrízica y longitud de micelio extraradical, pudo estar influenciado por el pH del suelo donde se realizó el estudio (Análisis de suelos/Laboratorio de la UNAM-L), puesto que hay una mejor reproducción de los hongos micorrízicos en suelos con pH ácidos. Resultados que se asemejan a lo encontrado por Cardona *et al.* (2005) quienes investigaron la abundancia de micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonía Colombiana, reportando 151 esporas en 10 g de suelo.

Según Oehl *et al.* (2005) las poblaciones de esporas no reflejan como es la colonización de raíces de las plantas; incluso que algunos HMA no son detectados porque no están esporulando o aparecen de forma ocasional. Asimismo, no todas las especies de HMA tienen la misma capacidad de formar esporas, ya que muchos de ellos no esporulan o la producción

de esporas está relacionada con cambios edáficos, por lo que el estudio de esporas puede traer resultados diferentes al comportamiento “real” de la comunidad de estos hongos (León, 2006).

Dentro de las variables fúngicas el compost aplicado a los clones de café, mostró efectos significativos, ya que como menciona Yang *et al.* (2018) el compost incrementa la colonización de las micorrizas, así como la densidad de sus hifas y esporas en el suelo, debido al elevado contenido en ácidos húmicos, que favorece la micorrización, o el contenido en nitrógeno del propio compost, que también lo favorece.

En esta investigación se observó la presencia de la roya amarilla del café (*H. vastatrix*) en todos los tratamientos estudiados, presentando esta enfermedad sus primeros síntomas a los dos meses después del trasplante de los clones de café a campo definitivo. En contraste, de acuerdo a los resultados encontrados los tratamientos inoculados alcanzaron los mayores valores en incidencia y severidad, en comparación a los no inoculados (Sin inóculo), evidenciándose que las condiciones ambientales fueron favorables para el desarrollo de esta enfermedad.

A pesar de que los tratamientos inoculados con los HMA alcanzaron los valores más altos en incidencia y severidad, el tratamiento T10 fue el que obtuvo un menor porcentaje y un menor grado. Se supone que, los clones de café de este tratamiento expresaron sus genes de tolerancia y resistencia mostrado por las plantas matrices de donde se obtuvieron estos clones, corroborado por Varzea y Marques (2005), quien manifiesta que en muchas ocasiones la aparición de la roya del cafeto está condicionada a las barreras genéticas que se crean para evitar su ataque en las plantas mejoradas con resistencia a la enfermedad.

Resultados que difieren con lo encontrado por Vallejos-Orbe (2016), donde en su investigación denominada: resistencia de plantas de café arábico (*C. arabica*) variedad “Caturra roja” a la roya amarilla (*H. vastatrix*), a nivel de vivero encontró que todos los clones estudiados presentaron resistencia a la roya amarilla, mostrándose hojas sin presencia de roya. Estos resultados podrían deberse a que esta investigación se realizó en condiciones de campo, donde la aparición de esta enfermedad se vio favorecida por las lluvias frecuentes, teniendo como fuente de inóculo inicial las plantas de café con roya cercanas al lugar de estudio. Además, si bien es cierto que las micorrizas actúan como biofertilizantes,

biofortificadores, bioestimulantes y bioprotectores de los cultivos (Barea, 2018), no existe investigaciones que demuestren que los HMA promuevan tolerancia a enfermedades foliares como es el caso de la roya amarilla.

Aunque su uso de los HMA no es común en campo, muchos trabajos informan que la asociación micorrízica arbuscular es necesaria para el desarrollo normal del café en campo (Bertolini *et al.*, 2018), encontrándose respuestas positivas a la inoculación tanto en la fase vegetativa como en la fase productiva por los buenos rendimientos obtenidos en las primeras cosechas de café (Siqueira *et al.*, 1993).

Esta investigación comprueba que la inoculación con los HMA a los clones de café es beneficioso para favorecer su crecimiento, aunque es necesario realizar una comparación de costos (Hernández-Acosta *et al.*, 2018). Cabe señalar que los inóculos utilizados en la investigación mostraron un comportamiento variable en los parámetros evaluados.

V. CONCLUSIONES

1. La inoculación de los clones de café con hongos micorrízicos mostraron respuestas positivas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café, siendo el inóculo 100V el más eficiente en comparación a los demás.
2. El mayor porcentaje de colonización micorrízica fue alcanzado por los tratamientos inoculados con HMA, determinando que el tratamiento T10 presentó mayor nivel de colonización micorrízica (16,19%). Sin embargo, fue el tratamiento T8 (inóculo 100V) el que alcanzó mayores valores de longitud de micelio extraradical, lo que podría expresarse en una mayor altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas de los clones de café.
3. Respecto al número de esporas, fue el tratamiento T12 el que alcanzó mayor número de esporas en 10 g de suelo (108 esporas).
4. Los valores de incidencia y severidad de la roya del café encontrado en el presente trabajo, no son elementos suficientes para sugerir algún nivel de tolerancia o resistencia, producto de la inoculación y aplicación de compost.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis molecular al inóculo 10OV, ya que fue el que presentó mejores resultados en los parámetros evaluados.
2. Replicar la investigación con los tres inóculos utilizados bajo una fertilización química balanceada.
3. Replicar la investigación y realizar un análisis nutricional para determinar las concentraciones de NPK en las plantas de café.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, S., P. Mazzafera y otros dos autores. Arbuscular mycorrhizal association in coffee, doi: 10.1017/S0021859608008344, *The Journal of Agricultural Science*, 147, 105-115 (2009).

Ascaño-Huarca, S. F., Castañeda-Domínguez, F. G., Machicao-Delgado, L., & Valdiviezo-Castro, S. (Octubre de 2017). *Planeamiento estratégico de la provincia de Rodríguez de Mendoza*. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/9847/ASCA%C3%91O_CASTA%C3%91EDA_PLANEAMIENTO_MENDOZA.pdf?sequence=1

Avelino, J., Muller, R., Eskes, A., Santacreo, R., & Holguin, F. (1999). *La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. DESAFIOS de la caficultura en Centroamérica*. In Bertrand, B; Rapidel, B (eds.). *Desafíos de la caficultura en Centroamérica*. San José, Costa Rica: IICA.

Barea, J. M. (2018). *José Miguel Barea (CSIC): “Es de esperar que las micorrizas permitan limitar el efecto vecero propio del cultivo del olivo”*. Obtenido de <https://revistaalmaceite.com/2018/03/06/jose-miguel-barea-csic-es-de-esperar-que-las-micorrizas-permitan-limitar-el-efecto-vecero-propio-del-cultivo-del-olivo/>

Bertolini, V., Montaña, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., & Martínez Vázquez, J. M. (2017). Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Biología Tropical*.

- Box, G., & Hunter, W. (1989). *Estadística para investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de los datos y construcción de modelos*. Ed. Reverté S.A. 675p. Estados Unidos.
- Cardona, G., Arcos, A., & Murcia, U. (2005). *Abundancia de actinomicetos y micorrizas arbusculares en paisajes fragmentados de la Amazonía colombiana*. Colciencias. Bogotá, Colombia.
- Daniels, B. A., & Skipper, H. D. (1982). *Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil*. In N. C. Shenck (Ed.) *Methods and principles of mycorrhizal research*. St. Paul, Minnessota: American Phytopathological Society.
- Del Aguila-Parillo, K. M., Vallejo-Torres, G., Arévalo, L. A., & Becerra, A. G. (2018). Inoculación de Consorcios Micorrícicos Arbusculares en *Coffea arabica*, Variedad Caturra en la Región San Martín. *SciELO*.
- Díaz, M. (1991). Técnicas de Enraizamiento de estacas juveniles de Cedrela odorata L. y Gmelina arborea Linn. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica CATIE. 93.
- Diz, R. (2008). Métodos para evaluar normalidad y homogeneidad de varianza. Relación con el tamaño de muestra. Universidad de Granma. Bayamo. Cuba. 44.
- Fernández, F. (2017). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café robusta (*Coffea canephora P.*). Guía de aprendizaje No. 008. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Orellana, EC. 134 páginas
- Fernández, F; (2017). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo del cultivo de café robusta (*Coffea canephora P.*). Guía de aprendizaje No. 008. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Orellana, EC. 134 páginas
- Font, H. (2007). *Estudio de precisión en la variable producción de huevos en gallinas White Leghorn*. Tesis al título de Máster en Producción Animal.
- Gerdemann, J., & Nicolson, T. (1963). *Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting*. *Transactions of the British Mycological Society* (Vol. 46).

- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M., Van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). *Agroecology: the key role of arbuscular micorrizas in ecosystem services*. Recuperado el 21 de Mayo de 2018, de <https://www.doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>
- González-Osorio, H. (2018). *Alternativas biotecnológicas para mejorar el suministro de fósforo en el cultivo del café*. Universidad Nacional de Colombia.
- Google earth (2018) [Ubicación del experimento en el distrito de Huambo]. Recuperado el 28 de septiembre de 2018 de Google earth Pro.
- Guerrero, H., Plaza, L., Quijano, G., Párraga, J., Subía, C., Calderón, D., & Loor, R. (2016). *Mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café*. Obtenido de Protocolo 6 Clonación en campo de individuos seleccionados de café robusta (*Coffea canephora*):<http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4520/1/iniapeetpPM433Protocolo%206%20%282%29.pdf>
- Helgason, T. y Fitter, A.H (2009). Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (*Phylum Glomeromycota*), doi: 10.1093/jxb/erp144, Journal of Experimental Botany, 60(9), 2465-2480.
- Hermard, C., Ilabaca, C., Jeres, G., Sandoval, P., & Ulloa, A. (2002). Aspectos generales de las Micorrizas: Efecto de las micorrizas sobre la nutrición mineral de las plantas. 10.
- Hernández-Acosta, E., Trejo-Aguilar, D., Ferrera-Cerrato, R., Rivera-Fernández, A., & González-Chávez, M. (2018). Hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de café (*Coffea arabica L.*) Variedades garnica, catimor, Caturra y catuaí. 11(4).
- Horishi Sera, Tumoru Sera, João Siqueira da Mata, Clayton Ribeiro Alegre, Inês Cristina de Batista Fonseca, Dhalton Shiguer Ito, Fabio Seidi Kanayama and Paulo Cristiano Barreto. (2009). Reaction of coffee cultivars Tupi IAC 1669-33 and IPR 100 to nematode *Meloidogyne paranaensis*, ARTICLE in CROP BREEDING AND APPLIED BIOTECHNOLOGY.

- Hodge, A., Robinson, D., & Fitter, A. (2000). *An arbuscular mycorrhizal inoculum enhances root proliferation in, but not nitrogen capture from nutrient-rich patches in soil. New Phytologist 145: 575-584.* Obtenido de An arbuscular mycorrhizal inoculum enhances root proliferation in, but not nitrogen capture from nutrient-rich patches in soil. *New Phytologist 145: 575-584.*
- Infocafés. (2007). *Producción de café en Perú.* Obtenido de <http://infocafes.com/portal/infocafes/produccion-de-cafe-en-peru/>
- Klironomos, J., Mccune, J., Hart, M., & Neville, J. (2000). *The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. Ecology Letters 3: 137-141.*
- Lebrón, L., Lodge, D. J., & Bayman, P. (2012). Differences in arbuscular mycorrhizal fungi among three coffee cultivars in Puerto Rico. *ISRN Agronomy, 2012, Article ID 148042, 7 p.* [http://dx.doi.org/10.5402/2012/148042.](http://dx.doi.org/10.5402/2012/148042)
- León, D. (2006). *Evaluación y caracterización de micorrizas arbusculares asociadas a yuca (Manihot esculenta) en dos regiones de la Amazonía Colombiana. Trabajo de grado. Bogotá – Colombia. 27:88 pp.*
- Marin-Ciriaco, G. (2012). Producción de cafés especiales. *Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (desco), 15-19.*
- Márquez, F. (2015). *Sostenibilidad de la caficultura orgánica en la Convención – Cusco. Tesis para obtener el grado de Doctoris Philosophiae en Agricultura Sustentable. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.*
- McGonigle, T., H. M, M., D. G, E., G. L, F., & J. A, S. (1990). A new method wich gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist, 115, 495-501.*
- Ministerio de Agricultura y Riego [Minagri] (2014). Plan nacional de acción del café peruano, Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, pp. 53.

- Minagri (2018). Dirección General de Competitividad Agraria, “*Plan Nacional de Renovación de Cafetales*”
- Newman, E. I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology*, 3: 139.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E., Bolle, T. & Wiemken. (2005). Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytology*, 165, 273-283 pp.
- Ortas, I., & Ustuner, O. (2016). The effects of single species, dual species and indigenous mycorrhiza inoculation on citrus growth and nutrient uptake. *European journal of soilbiology*, 63, 64-69.
- Osorio, N.W., Alzate, J.M., Ramirez, G.A. (2014). Coffee seedling growth as affected by mycorrhizal inoculation and organic amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1425-1434.
- Padron, E. (1996). *Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería*. (Trillas, Ed.) México. 215p.
- Philipps Paredes, M. H. (2017). *Sistema de postcosecha del café (Coffea arabica) en la región San Martín*. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/2543/FIAI%20%20Max%20Harris%20Philipps%20Paredes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Phillips, J., & Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Plaza, L., Loor, R., Guerrero, H., Quijano, G., Quiroz, J., Párraga, J., Fernández, F. (2016). *Mejoramiento y homologación de los procesos y protocolos de investigación, validación y producción de servicios en cacao y café*. Obtenido de Protocolo 1 Características agronómicas: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4455/1/iniapeetpPM433Protocolo%201.pdf>

- Robles, C. (2009). Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrízico en especies silvestres de Agave en Oaxaca. *Instituto Politecnico Nacional (IPN)*, 80.
- Ruscitti, M., Arango, M., & Beltrano, J. (2017). Improvement of copper stress tolerance in pepper plants (*Capsicum annuum* L.) by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. doi:10.1007/s40626-016-0081-7. e-ISSN2197-0025.
- Sánchez-Santillán, T. (2017). Efecto de inóculos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas clonales de café (*Coffea Arabica* L.) variedad Caturra en condiciones de invernadero, Rodríguez de Mendoza, región Amazonas. Chachapoyas - Perú.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria [Senasa]*. (2012). MIP Plaga del cafeto. Perú. Consultado 11 junio 2018. Disponible en http://www.senasa.gob.pe/RepositorioAPS/0/0/JER/SUB_DIR_CONTEP/1222.pdf
- Siqueira, J., Collozzi-Filho, A., Saggin-Junior, O., & Guimaraes, P. (1993). Crecimiento de mudas producao de cafeeiro sob influencia de fungos micorrízicos e superfosfato. *R. Bras. Ci*, 53-60.
- Smith, S., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. (Third Edition ed.).
- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., García, R., Varela, L., Lara, L., Alarcón, & Alejandro. (Marzo de 2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 23-31, 2011, 84(1).
- Trouvelot, A., Kough, J., & Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Mesure du taux de micorrización VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimación ayant une signification fonctionnelle, In: Gianinazzi-Pearson, V. and Giainazzi, S. (eds). *Physiological and Genetical Aspects of mycorrhiza*". *INRA Publications*, 217-221.
- Vallejos-Orbe, J. P. (2016). Resistencia de plantas café arábico (*Coffea Arabica*) variedad 'Caturra roja' a la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*), en la region San Martín. Tarapoto-Perú. 1-96.

- Vallejos-Torres, G., García-Sánchez, M. A., Koch-Duarte, C., & Arévalo-López, L. A. (Setiembre de 2016). *Innovación tecnológica para la clonación de plantas matrices de café (Coffea arabica) con alta productividad y tolerancia a roya en la región San Martín*. Recuperado el 29 de Mayo de 2018, de <http://iiap.org.pe/Archivos/Convenio/Proyecto/73.pdf>
- Varzea, V., & Marques, D. (2005). Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. *Coffea Durable Resistance*. In: Zambolim L, Zambolim EM, Varzea VMP (eds). Durable resistance to coffee leafrust. Federal. 53-74.
- Yang, W., Gu, S., Xin, Y., Bello, A., Sun, W., & Xu, X. (7 de Febrero de 2018). Compost Addition Enhanced Hyphal Growth and Sporulation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi without Affecting Their Community Composition in the Soil. *Front. Microbiol.* Obtenido de <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00169>

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis fisicoquímico del suelo donde se ejecutó la investigación/Laboratorio de la UNAM-L

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

Solicitante : IIAP

Departamento : AMAZONAS

Distrito : HUAMBO

Referencia : H.R. 61414-154C-17

Provincia : RODRÍGUEZ DE MENDOZA

Fecha : 21/11/17

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables							Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases	
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Ca/Mg	K ⁺	Ca/K	Mg/K	Na ⁺				Al ⁺³ + H ⁺
												meq/100g											
13183	RM-SM-PC (BI)	4.72	0.13	0.00	4.36	2.3	497	25	30	45	Ar.	36.64	5.42	2.40	2.26	1.24	4.37	1.93	0.11	7.60	25.33	17.73	48
13184	RM-SM-PC (BII)	4.61	0.09	0.00	4.50	2.4	325	39	30	31	Fr.Ar.	35.84	2.41	0.88	2.73	0.69	3.48	1.28	0.14	8.80	20.41	11.61	32
13185	RM-SM-PC (BIII)	4.30	0.18	0.00	4.48	2.6	298	43	26	31	Fr.Ar.	36.00	2.01	0.60	3.35	0.66	3.04	0.91	0.09	7.50	18.15	10.65	30

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Anexo 2. Análisis fisicoquímico del compost/Laboratorio de la UNTRM-A

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

1. DATOS

Solicitante : IIAP

Departamento : AMAZONAS

Distrito : HUAMBO

Referencia : H.R. 61414-154C-17

Provincia : RODRÍGUEZ DE MENDOZA

Sector : MIRAFLORES

Fecha : 01/06/18

B.V. : 0003-0075524

2. RESULTADO DEL ANÁLISIS SOLICITADO

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	P ppm	K ppm	C %	M.O %	N %	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves								Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
									%	%	%										
451	COMPOST	6.48	7.80	70.64	2905.51	5.50	9.48	0.47	84.00	6.00	10.00	A.Fr.	72.00	41.53	21.76	5.59	0.84	0.00	69.71	69.71	97

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Tec. Elder Chichipe Vela
Responsable del Área de Suelos

Anexo 3. Codificación de plantas y croquis de la parcela experimental

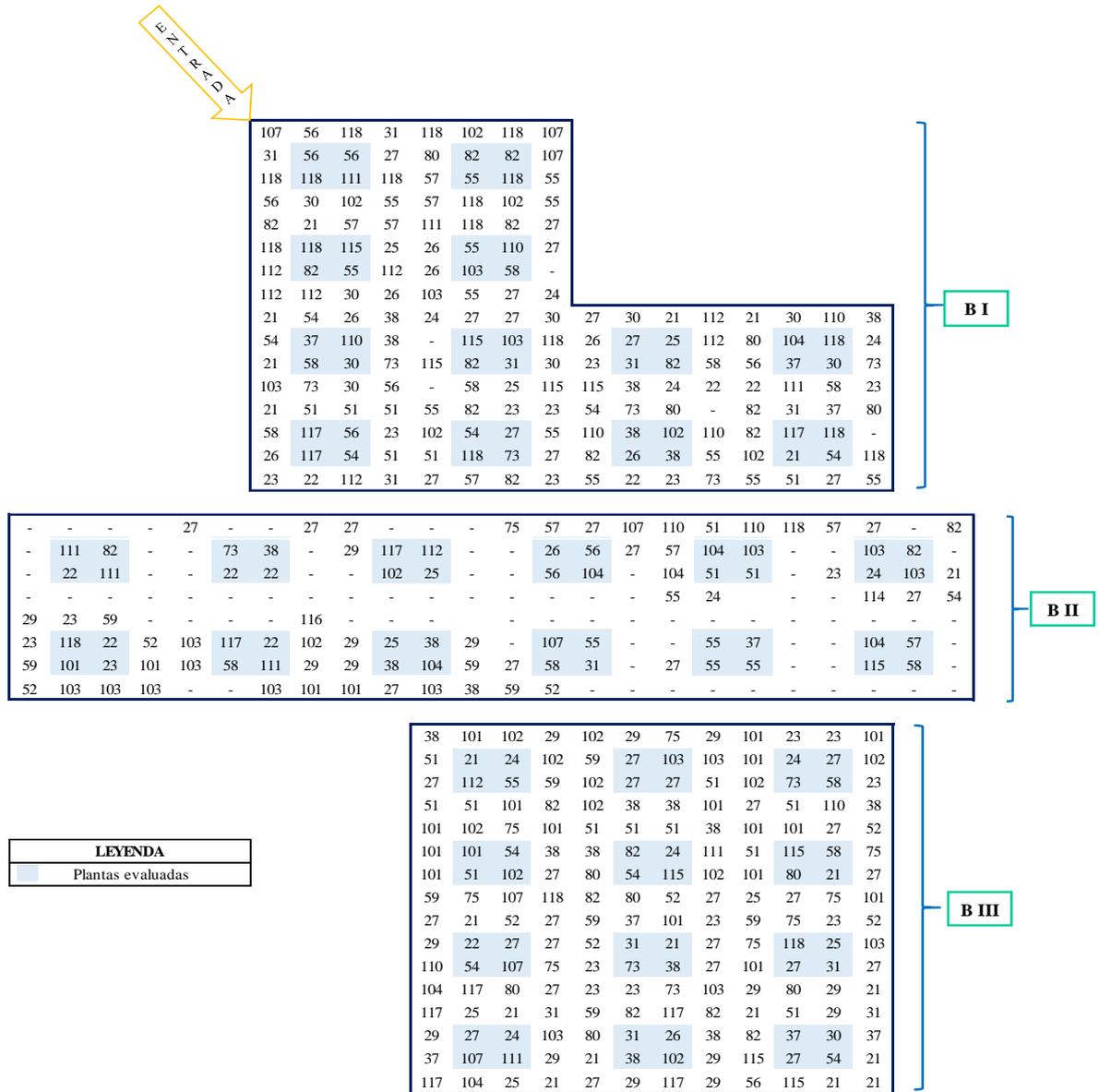


Figura 12. Códigos de plantas matrices de café instaladas en campo en el caserío Miraflores, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas.

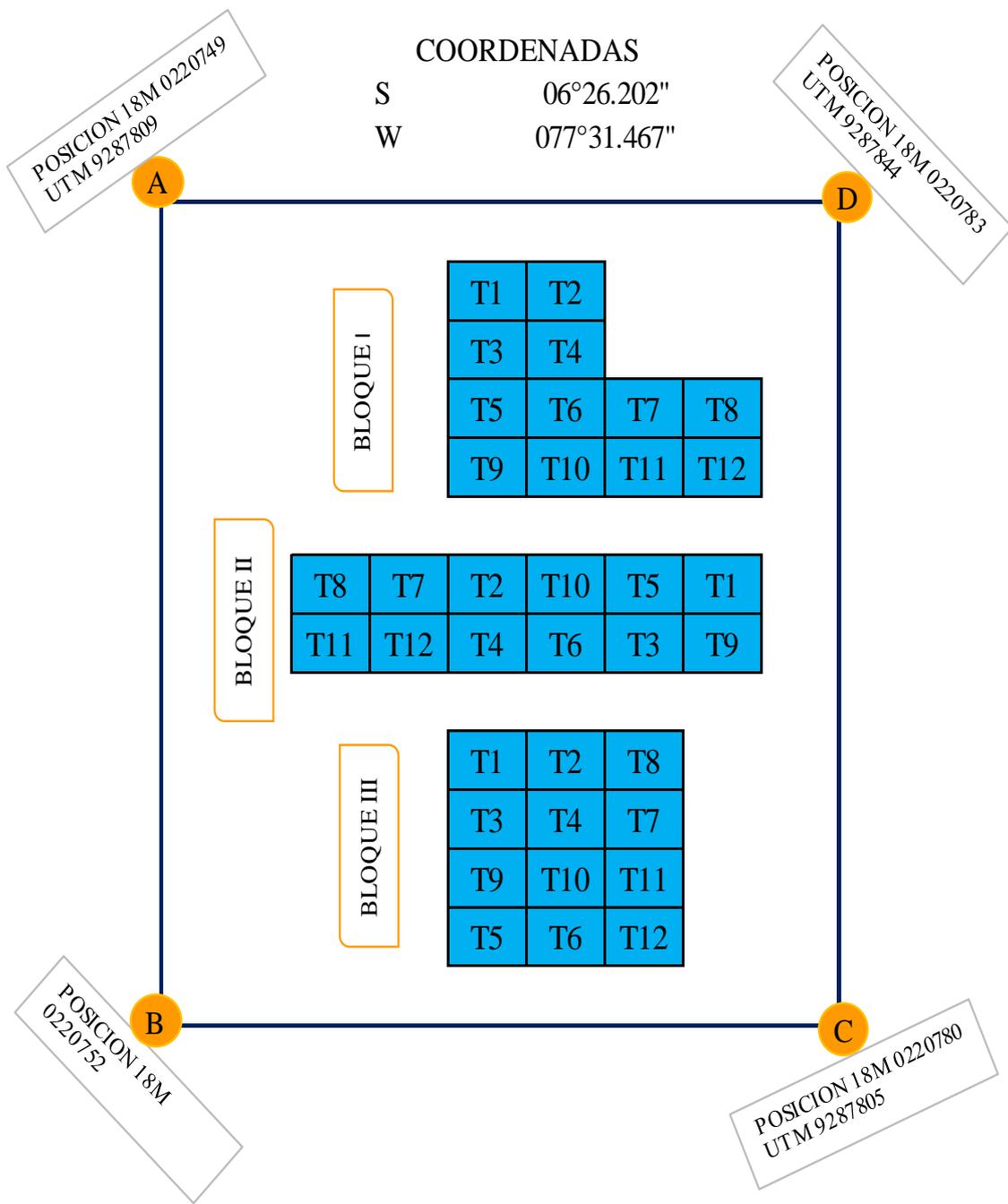


Figura 13. Croquis de los diferentes tratamientos de los clones de café instalados en campo en el caserío Miraflores, distrito de Huambo, Rodríguez de Mendoza, Amazonas

Anexo 4. Densidad de esporas viables

Tabla 7

Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del Inóculo 1SNI/Morfotipos de HMA

	Inóculo 1-Nueva Esperanza-San Nicolás (1SNI)								Total
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
500 g de suelo	16	3	3	3	6	9	4	5	49

Tabla 8

Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del Inóculo 10OV/Morfotipos de HMA

	Inóculo 10-Shiwa 1-Omia (10OV)											Total	
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
500 g de suelo	22	10	4	4	4	3	2	2	1	2	2	1	57

Tabla 9

Densidad de esporas viables en 500 gramos de suelo del Inóculo 11OVI/Morfotipos de HMA

	Inóculo 11-Shiwa 2-Omia (11OVI)											Total	
Muestra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	
500 g de suelo	4	15	10	8	7	8	6	5	4	6	3	2	78

Anexo 5. Análisis de varianza

Tabla 10

Análisis de varianza de la altura de planta (cm) de clones de café

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	20,051	2	10,025	1,524	0,22 N.S
Factor A	952,409	3	317,470	48,262	0,00 *
Factor B	491,646	2	245,823	37,370	0,00 *
A*B (Tratamiento)	467,124	6	77,854	11,836	0,00 *
Error	855,140	130	6,578		
Total	2786,370	143			

a. $R^2(\%) = 66,2$ b. $CV(\%) = 7,6$

Tabla 11

Análisis de varianza del diámetro de tallo (mm) de los clones de café

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	1,379	2	0,690	3,129	0,05 *
Factor A	23,337	3	7,779	35,303	0,00 *
Factor B	17,217	2	8,608	39,067	0,00 *
A*B (Tratamiento)	7,877	6	1,313	5,958	0,00 *
Error	28,645	130	0,220		
Total	78,455	143			

a. $R^2(\%) = 59,8$ b. $CV(\%) = 4,2$

Tabla 12

Análisis de varianza del número de ramas de los clones de café. Datos convertidos \sqrt{x}

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	0,059	2	0,030	3,471	0,03 *
Factor A	2,868	3	0,956	111,907	0,00 *
Factor B	2,347	2	1,173	137,340	0,00 *
A*B (Tratamiento)	2,464	6	0,411	48,061	0,00 *
Error	1,111	130	0,009		
Total	8,849	143			

a. $R^2(\%) = 86,2$ b. $CV(\%) = 2,5$

Tabla 13

Análisis de varianza del porcentaje de colonización micorrízica (%) de los HMA presentes en los clones de café. Datos convertidos $\sqrt{\%}$

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	3,746	2	1,873	1,026	0,36 N.S
Factor A	323,814	3	107,938	59,121	0,00 *
Factor B	144,232	2	72,116	39,500	0,00 *
A*B (Tratamiento)	342,437	6	57,073	31,261	0,00 *
Error	237,341	130	1,826		
Total	1051,569	143			

a. $R^2(\%) = 75,2$ b. $CV(\%) = 7,4$

Tabla 14

Análisis de varianza de la longitud de micelio extraradical (cm) de los HMA presentes en los clones de café

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	45650,572	2	451,483	4,121	0,02 *
Factor A	24347,009	3	8115,670	74,071	0,00 *
Factor B	4124,941	2	2062,471	18,824	0,00 *
A*B (Tratamiento)	17178,622	6	2863,104	26,131	0,00 *
Error	14243,520	130	109,566		
Total	60797,057	143			

a. $R^2(\%) = 74,2$ b. $CV(\%) = 10,7$

Tabla 15

Análisis de varianza para el número de esporas producidos por los HMA presentes en los clones de café. Datos convertidos \sqrt{x} .

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	15,418	2	7,709	11,353	0,00 *
Factor A	119,636	3	39,879	58,731	0,00 *
Factor B	4,335	2	2,168	3,192	0,04 *
A*B (Tratamiento)	130,435	6	21,739	32,016	0,00 *
Error	88,270	130	0,679		
Total	358,093	143			

a. $R^2(\%) = 72,9$ b. $CV(\%) = 11,1$

Tabla 16

*Análisis de varianza de la incidencia (%) de la roya amarilla (**H. vastatrix**), presentes en clones de café variedad Caturra en plantas micorrizadas y no micorrizadas.*

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	131,802	2	65,901	4,393	0,01 *
Factor A	1643,250	3	547,750	36,514	0,00 *
Factor B	648,507	2	324,254	21,615	0,00 *
A*B	1366,653	6	227,775	15,184	0,00 *
(Tratamiento)					
Error	1950,161	130	15,001		
Total	5740,373	143			

a. $R^2(\%) = 62,6$ b. $CV(\%) = 12,6$

Tabla 17

*Análisis de varianza de la severidad (°) de la roya amarilla (**H. vastatrix**), presentes en clones de café variedad Caturra en plantas micorrizadas y no micorrizadas.*

FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Bloque	2,264	2	1,132	8,926	0,00 *
Factor A	1,576	3	0,525	4,143	0,01 *
Factor B	0,181	2	0,090	0,712	0,49 N.S
A*B	3,319	6	0,553	4,363	0,00 *
(Tratamiento)					
Error	16,486	130	0,127		
Total	23,826	143			

a. $R^2(\%) = 23,9$ b. $CV(\%) = 32,7$

Anexo 6. Panel fotográfico



Figura 14. Instalación en campo y fertilización con compost a los clones de café. (A) Clones de café en campo definitivo. (B) Fertilización con compost a los clones de café.

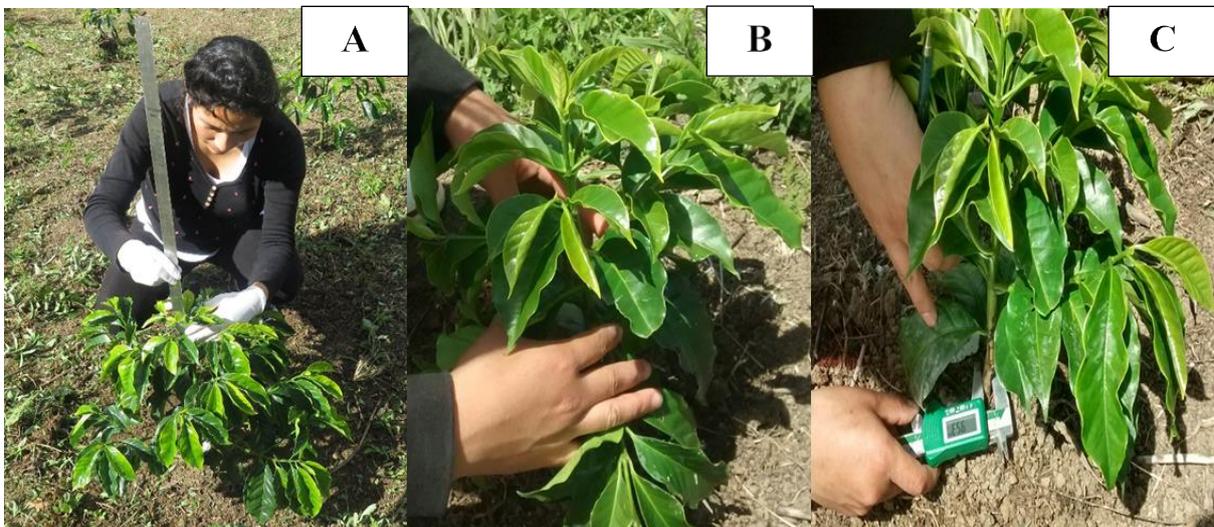


Figura 15. Evaluación de parámetros morfológicos. (A) Evaluación de la altura de los clones de café. (B) Evaluación del número de ramas productivas de los clones de café. (C) Evaluación del diámetro de tallo de los clones de café.

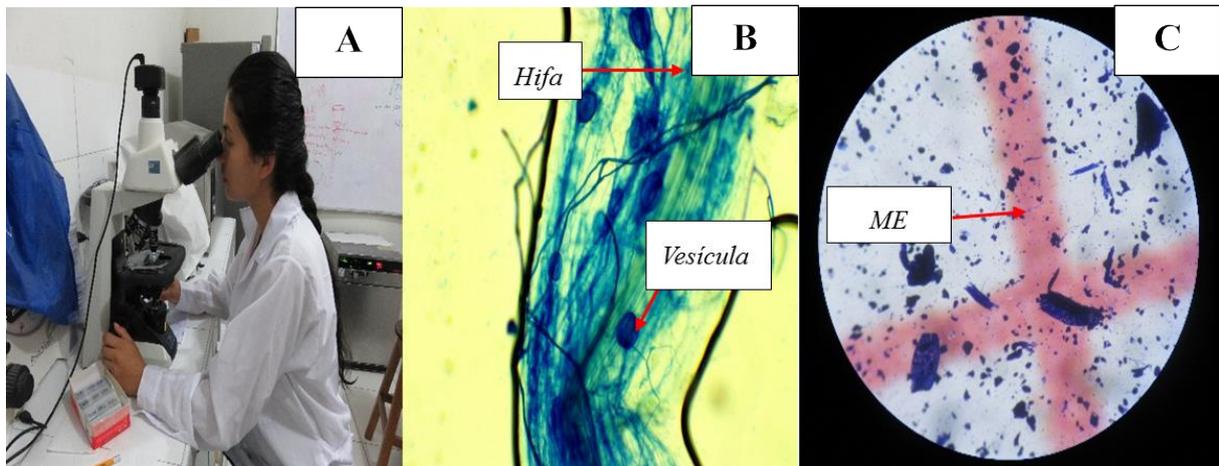


Figura 16. Evaluación de parámetros fúngicos. (A) Evaluación de hifas de HMA encontradas en raíces de los clones de café. (B) Observación en microscopio de las hifas y vesículas de HMA a un aumento de 10 X. (C) Observación en estereoscopia de micelio extraradical a un aumento de 4.5 X.



Figura 17. Evaluación de parámetros fitosanitarios.