



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra

ASESOR:

Blgo. Dr. Winston Franz Ríos Ruiz

Co-Asesor:

Ing. M. Sc. José Carlos Rojas García

Tarapoto – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín

AUTOR:

Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra

Sustentado y aprobada el 11 de octubre del 2021, por los siguientes jurados:


Ing. Dr. Carlos Rengifo Saavedra
Presidente


Ing. M.Sc. Segundo Darío Maldonado Vásquez
Secretario


Blga. Dra. Yoni Meni Rodríguez Espejo
Miembro


Blgo. Dr. Winston Franz Ríos Ruiz
Asesor



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS**

“AÑO DEL BICENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA”

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL

Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo Modalidad Informe de Tesis

Mediante emisión video conferencia vía plataforma Cisco Webex Meeting, a las ...15..... horas, del día lunes 11..... del mes...octubre..... del año dos mil veintiuno, en virtud a la DIRECTIVA N°01-2020-UNSM-T “Sustentación de Tesis de Pregrado según la Modalidad No Presencial en el Marco de la Emergencia Nacional por la COVID – 19, En la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNSM, aprobado con Resolución N° 266-2021-UNSM/CU-R, de fecha 15/03/2021, se reunió el Jurado de Tesis, integrado por:

PRESIDENTE : DR. CARLOS RENGIFO SAAVEDRA
SECRETARIO : ING. M. Sc. SEGUNDO DARIO MALDONADO VÁSQUEZ
MIEMBRO : BLGA. DRA. YONI MENI RODRÍGUEZ ESPEJO
ASESOR : DR. WINSTON FRANZ RÍOS RUÍZ

Para evaluar el Informe de Tesis titulado: “**COMPATIBILIDAD FUNCIONAL ENTRE ESPECIES DE LEGUMINOSAS DE COBERTURA Y HONGOS MICRORRÍZICOS ARBUSCULARES, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA REGIÓN SAN MARTÍN**”, Presentado por el Bachiller en Agronomía: **LUZ ELIZABETH VALDIVIEZO SAAVEDRA**.

Los Miembros del Jurado de Informe de Tesis, después de haber observado la sustentación virtual, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica, luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran...Aprobado.....con el calificativo de...Muy Bueno....., en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las.....17.....horas del mismo día, dándose por terminado el acto de sustentación.

Dr. Carlos Rengifo Saavedra
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Segundo Darío Maldonado Vásquez
SECRETARIO

Blga. Dra. Yoni Meni Rodríguez Espejo
MIEMBRO

Dr. Winston Franz Ríos Ruiz
ASESOR

Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra
SUSTENTANTE

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Valdiviezo Saavedra Wz Elizabeth	
Código de alumno : 101132	Teléfono: 973061939
Correo electrónico : valdiviezo1508@gmail.com DNI: 47203282	

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de: Agronomía

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín
Año de publicación: 2021

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

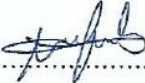

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


.....


Firma del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM.

Fecha de recepción del documento.

17 / 10 / 2022


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.

.....
Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Declaratoria de autenticidad

Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra, con DNI N° 47203282, egresada de la Escuela Profesional de Agronomía Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autora de la tesis titulada: **Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín.**

Declaro bajo juramento que:

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

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

Tarapoto, 11 de octubre de 2021.



Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra
DNI N° 47203282

Dedicatoria

A Dios, quien se merece toda gloria y honra, por darme la vida para cumplir este sueño
anhelado.

A mis queridos padres Agapito Valdiviezo Avila y Melis Saavedra García, a mi esposo
Jean Claude Rodríguez Peralta y a mis hermanos Ester y Enoc porque siempre me brindan
su apoyo incondicional y la fuerza que me motiva a luchar por mis sueños.

Autora: Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haber hecho posible concluir con este gran sueño de mi vida.

A la Universidad Nacional de San Martín y a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias que contribuyeron en la formación de mi carrera profesional.

Al Dr. Winston Franz Ríos Ruíz asesor del presente trabajo de investigación, a mi Co – Asesor el Ing. José Carlos Rojas García y a todos los miembros del equipo investigador del Laboratorio de Microbiología Agrícola “Raúl Ríos Reátegui”.

A Concytec, por financiar el presente trabajo de investigación cuyos resultados llegarán a formar parte del desarrollo agrario.

A mis padres, esposo, hermanos, amigos y a todas aquellas personas que de una y otra manera contribuyeron en mi formación profesional.

A todos ellos, muchas gracias.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Listado de siglas y abreviaturas.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Introducción.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Hongos micorrizas Arbusculares.....	3
1.2. Inoculación de HMA en leguminosas.....	9
1.3. Compatibilidad funcional entre HMA y leguminosas.	9
1.4. Suelos degradados.....	10
1.5. Descripción de los tipos de leguminosas	11
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1 Materiales.....	14
2.2 Métodos	15
2.2.1 Ubicación y caracterización del área de estudio.....	15
2.2.2 Descripción del Experimento	16
2.2.3 Población y Muestra.....	18
2.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1. Indicadores morfológicas.....	29
3.1.1 Altura de la planta.....	29
3.1.2 Número de hojas.....	32
3.1.3 Biomasa fresca aérea.....	36
3.1.4 Biomasa seca aérea.....	41
3.2 Indicadores de desarrollo biológico del HMA	45
3.2.1 Colonización micorrízica	45
3.2.2 Número de esporas.....	50
3.3 Concentración de fósforo foliar	55

3.3.1 Contenido de Fósforo	55
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63

Índice de tablas

	pág.
Tabla 1. Descripción de los tratamientos en estudio.	17
Tabla 2. Características fisicoquímicas del sustrato utilizado para el desarrollo de las Leguminosas.	20
Tabla 3. Análisis de varianza para la altura de Leguminosas de cobertura (cm), evaluados en condiciones de vivero.	29
Tabla 4. Resumen del modelo	30
Tabla 5. <i>Análisis de varianza para el número de hojas en leguminosas de cobertura evaluados en condiciones de vivero.</i>	33
Tabla 6.	33
Tabla 7. Análisis de varianza para la biomasa fresca aérea (g) evaluados en condiciones de vivero.	37
Tabla 8. Resumen del modelo	37
Tabla 9. Análisis de varianza para la biomasa seca aérea (g) en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	41
Tabla 10. Resumen del modelo	41
Tabla 11. Análisis de varianza para la colonización micorrízica (%) en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	45
Tabla 12. Resumen del modelo	45
Tabla 13. Análisis de varianza para el número de esporas en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	51
Tabla 14. Resumen del modelo	51
Tabla 15. Análisis de varianza para el contenido de fósforo (%) en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	56
Tabla 16. Resumen del modelo	56

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Áreas de estudio utilizadas en la ejecución del experimento. A: Invernadero de Producción de HMA en plantas de leguminosas, B: Laboratorio de Microbiología Agrícola “Raúl Ríos Reátegui”. FCA-UNSM.	16
Figura 2. Obtención de inóculos de HMA. A: Crioviales con 100 esporas de HMA, B: Esporas de Acaulospora sp., C: Esporas de Ambispora appendicula y D: esporas de Acaulospora rugosa.	19
Figura 3. Preparación del sustrato A). Lavado de arena, B). Esterilización de muestra en Autoclave, C. Esterilización de muestra en Estufa, D. Desinfección de macetas, E. Homogenización de sustrato, F. Maceta con sustrato.	20
Figura 4. Proceso de desinfección de las semillas de leguminosas de cobertura A) Semillas de Cajanus cajan , Vigna unguiculata en bolsitas de ziploc B) Semillas de Crotalaria juncea C)Materiales e insumos utilizados para la desinfección D)Aplicación de alcohol al 70% en semillas durante 1 minuto E)Enjuagando con agua destilada F)Aplicación de hipoclorito de sodio al 2%, G)Enjuague con agua destilada 10 veces H)Semillas de Canavalia ensiformis , crotalaria juncea,vigna unguiculata y cajanus cajan desinfectadas I) Placas Petri con papel absorbente K) Ubicando las semillas en las placas Petri.	21
Figura 5. A). Orificio para siembra de semilla e inoculación de HMA, B). Siembra de semilla de leguminosas y C). Inoculación de esporas de HMA.....	22
Figura 6. A) Evaluación de altura de planta, B) Evaluación de número de hojas, C) Corte de planta, D) Peso de biomasa fresca, E) Secado en estufa y F) Peso de biomasa seca.....	23
Figura 7. A). Separación de suelo y raíces, B). Lavado de raíces, C). Adición de KOH, D). Muestra en estufa, E). Adición de alcohol yodado, F). Muestra clareada, G). Lavado de raíz, H). Aplicación de tinta, I). Muestra en estufa, J). Lavado de muestra teñida, K). Muestra teñida.y L) La muestra de raíces observada en el estereomicroscopio binocular	24
Figura 8. Proceso para determinar el porcentaje de colonización micorrízica: A) Segmentos de raíces en placa cuadrículada. B) Estereoscopio binocular. C) Observación de segmentos de raíces en el estereoscopio D) Estructuras de HMA en raíces. E) Forma de evaluación de cada segmento de raíz.	25

Figura 9. A). Peso 15 g de muestra, B). Homogenización de muestra, C). Dispensión en tamiz, D). Colocación de muestra en tubo falcon, E). Centrifugado de muestra, F). Dispersión de sobrenadante, G). Adición de sacarosa al 70 %, H). Centrifugado nuevamente, I). Dispersión de muestra en tamiz, J). Lavado de esporas y K) Conservación de esporas con agua destilada en tubo falcon.	26
Figura 10. Procedimiento del conteo de esporas A)Crioviales con esporas de HMA en agua destilada, B) Depósito de la muestra en la placa concéntrica, C)Estereo microscopio binocular, D) Observación en el estereomicroscopio binocular, E) Esporas viables observadas	27
Figura 11. Efectos simples o interacción para altura de plantas de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	30
Figura 12. Prueba de Tukey ($p<0,05$) para la altura (cm) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.	31
Figura 13. Efectos principales para número de hojas, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab.	34
Figura 14. Efectos simples o interacción para número de hojas de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab.	35
Figura 15. Prueba de Tukey ($p<0,05$) para número de hojas de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.	35
Figura 16. Efectos principales para biomasa fresca aérea, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	38
Figura 17. Efectos simples o interacción para biomasa fresca aérea de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	39
Figura 18. Prueba de Tukey ($p<0,05$) biomasa fresca parte aérea (gramos) de leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	40
Figura 19. Efectos principales para biomasa seca aérea, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	42

Figura 20. Efectos simples o interacción para biomasa seca aérea de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	43
Figura 21. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) biomasa seca parte aérea (gramos) de leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.	44
Figura 22. Efectos principales para colonización micorrízica. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	46
Figura 23. Efectos simples o interacción para la colonización micorrízica. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	47
Figura 24. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para colonización micorrízica (%) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.	48
Figura 25. Observaciones de colonización micorrízica en leguminosas de cobertura. A) Colonización micorrízica de Acaulospora rugosa en Vigna unguiculata con presencia de esporas B) Colonización micorrízica de Crotalaria juncea inoculada con Acaulospora rugosa C) Colonización micorrízica de Canavalia ensiformis inoculada con Acaulospora sp D) Colonización micorrízica de Vigna unguiculata inoculada con Acaulospora sp.	50
Figura 26. Efectos principales para número de esporas .Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	52
Figura 27. Efectos simples o interacción para número de esporas. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	52
Figura 28. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para número de esporas (unidad) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.	53
Figura 29. Observaciones de esporas de hongos micorrízicos arbusculares a través de esteromicroscopio. A) Ambispora appendicula B) Acaulospora rugosa C) Acaulospora sp.	55
Figura 30. Efectos principales para el contenido de fósforo. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	57
Figura 31. Efectos simples o interacción para el contenido de fósforo. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	58
Figura 32. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para contenido de fósforo de leguminosas de cobertura. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.	59

Listado de siglas y abreviaturas

ADN r	: Ácido desoxirribonucleico ribosómico
ATP	: Adenosín trifosfato
CA	: Células Auxiliares
CV	: Coeficiente de variabilidad
DCA	: Diseño completamente al azar
FCA	: Facultad de Ciencias Agrarias
HE	: Hifas Extrarradicales
HMA	: Hongos Micorrízicos Arbusculares
HI	: Hifas Intrarradicales
KOH	: Hidróxido de potasio
MSPA	: Masa seca parte aérea
P	: Fósforo
RPM	: Revolución por minuto
Sp.	: Una especie del género
Spp.	: Varias especies del género
UNSM-T	: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto
°C	: Grados centígrados
N ₂	: Nitrógeno atmosférico
R ²	: Coeficiente de determinación

Resumen

El principal causante de la degradación del suelo es la agricultura migratoria caracterizada por la práctica de roza, tumba y quema de un terreno para luego cultivar sembríos para el autoconsumo. Una buena alternativa para revertir este problema resulta ser los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) que al asociarse con leguminosas de cobertura, estimulan la actividad fijadora de nitrógeno y la absorción de nutrientes, contribuyendo con la recuperación de suelos degradados y la sustitución parcial o total de fertilizantes inorgánicos. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar la compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y HMA seleccionados de suelos degradados. Para ello, se evaluaron cuatro especies de leguminosas (*Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* y *Vigna unguiculata*) asociadas a tres tipos de hongos (*Acaulospora rugosa*, *Acaulospora* sp. y *Ambispora appendicula*) y se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de 4 x 4. Se encontró que la leguminosa *Canavalia ensiformis* inoculada con el hongo *Acaulospora rugosa* presentó mayor altura de planta (271,67 cm), *Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp obtuvo el mayor número de hojas (149,33), *Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp mostró mas biomasa fresca aérea (88,3 g) y *Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp obtuvo mayor biomasa seca (27,52 g). Además, la leguminosa *Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa* logró un mayor porcentaje de colonización (71,48%) y *Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp obtuvo más número de esporas (600). Por otro lado, la interacción que tuvo el mayor contenido de fósforo (5,01%) fue al inocular la leguminosa *Cajanus cajan* con *Ambispora appendicula*. Finalmente, se concluye que las interacciones de los HMA con las especies de leguminosas son muy diferentes en cada una de los indicadores estudiados, pero las especies de hongos micorrizicos que mejor grado de compatibilidad demostraron son *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp. Demostrados en los indicadores estudiados en las diferentes especie de plantas.

Palabras clave: Hongo micorrízico arbuscular, HMA, leguminosas de cobertura, interacción mutualista.

Abstract

The main cause of soil degradation is shifting agriculture, characterized by slash-and-burn practices to cultivate crops for self-consumption. A good alternative to reverse this problem is Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) which, when associated with leguminous cover crops, stimulate nitrogen-fixing activity and nutrient absorption, contributing to the recovery of degraded soils and the partial or total substitution of inorganic fertilizers. Therefore, the objective of this study was to evaluate the functional compatibility between cover legume species and AMF selected from degraded soils. For this purpose, four legume species (*Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis* and *Vigna unguiculata*) were evaluated in association with three types of fungi (*Acaulospora rugosa*, *Acaulospora* sp. and *Ambispora appendicula*) and a Completely Randomized Design (CRD) with a 4 x 4 factorial arrangement was used. The results showed that the legume *Canavalia ensiformis* inoculated with the fungus *Acaulospora rugosa* presented the greatest plant height (271.67 cm), *Crotalaria juncea* inoculated with *Acaulospora* sp had the greatest number of leaves (149.33), *Crotalaria juncea* inoculated with *Acaulospora* sp showed more fresh aerial biomass (88.3 g) and *Crotalaria juncea* inoculated with *Acaulospora* sp had the greatest dry biomass (27.52 g). In addition, the legume *Vigna unguiculata* inoculated with *Acaulospora rugosa* achieved a higher percentage of colonization (71.48%) and *Vigna unguiculata* inoculated with *Acaulospora* sp obtained a higher number of spores (600). On the other hand, the interaction that showed the highest phosphorus content (5.01%) was the legume *Cajanus cajan* when inoculated with *Ambispora appendicula*. Finally, it is concluded that the interactions of AMF with legume species are very different in each of the indicators under study, but the species of mycorrhizal fungi that showed the best degree of compatibility are *Acaulospora rugosa* and *Acaulospora* sp. as demonstrated by the indicators studied on the different plant species.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungus, AMF, legume cover crops, mutualistic interaction.



Introducción

En todo el mundo los suelos degradados se vienen incrementando descontroladamente y su aprovechamiento agropecuario es muy difícil (Ferrari & Wall, 2015) debido a la baja fertilidad, baja actividad biológica y pérdida de materia orgánica que éstos presentan (Montiel & Ibrahim, 2016).

En este contexto, los microorganismos del suelo como los HMA contribuyen a su recuperación al ser utilizados como inoculantes microbianos en la agricultura, éstos agregan partículas benéficas al suelo mejorando además la nutrición, productividad y adaptación a las condiciones de estrés medioambiental de la planta, ejerciendo control sobre patógenos (Cuéllar et al., 2015; Fokom et al., 2012; Nazeri et al., 2014; Smith & Read, 2008 y Petipas et al., 2017), así la planta suministra al hongo productos de fotosíntesis (Cardoso et al., 2017; Ma et al., 2019).

Otro aspecto importante es el cultivo de leguminosas de cobertura que a través de la fijación del nitrógeno atmosférico, permite la incorporación de este al suelo, mejorando así su fertilidad, así mismo regula la erosión, las variaciones de temperatura y control de malezas (Barrios et al., 2008). También es un cultivo altamente micorrízico, debido a su potencial de colonización radicular y al aumento de la población de esporas en el suelo (Ríos-Ruiz et al., 2019).

En tanto, diferentes especies de leguminosas poseen diferentes capacidades de micorrización, algunas presentan mayor dependencia micorrízica, mientras que otras no para la translocación de nutrientes. Por lo que se faculta la necesidad de identificar cepas nativas asociadas específicamente a la especie de cultivo de interés, distinguiendo bajo una mayor capacidad competitiva y de ser más efectivas, ya que se ha apreciado muchas veces que existen en gran proporción en el suelo, pero que sus interacciones no son significativas (Caldera et al., 2013), por ello es necesario conocer la compatibilidad funcional originada por el grado de interacción entre planta y hongo (García Sánchez, 2011).

Por lo tanto el trabajo de investigación busca dar solución al desconocimiento de la compatibilidad funcional existente entre las especies leguminosas y hongos micorrizicos arbusculares estudiados.

Y como objetivo planteado fue evaluar la compatibilidad funcional existente entre especies de leguminosas de cobertura y HMA seleccionados de suelos degradados, para lo cual se plantaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la interacción entre leguminosa de cobertura y hongo micorrízico arbuscular que permita lograr un mejor desarrollo morfológico en altura de planta, número de hojas, biomasa fresca aérea y biomasa seca aérea.

-Determinar la interacción entre leguminosa de cobertura y hongo micorrízico arbuscular que permita obtener un mejor desarrollo biológico del hongo, como colonización micorrízica y cantidad de esporas.

-Determinar la interacción entre leguminosa de cobertura y hongo micorrízico arbuscular que permita un mayor contenido de fósforo en la planta.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Hongos micorrizas Arbusculares

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), son microorganismos presentes en casi todos los ecosistemas terrestres, integrándose simbioticamente con la parte radicular de las plantas alrededor del mundo (Lekberg et al., 2013), a través de un sistema de hifas extraradicales logra una mayor cobertura de absorción del suelo (Smith & Read, 2008) de esta manera la planta podrá absorber y asimilar más agua, minerales (nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos) e iones poco móviles (ácido fosfórico, amoníaco, zinc, cobre), favoreciéndose el balance hídrico y nutrición (Cuéllar et al., 2015) que resultará en un mayor crecimiento, resistencia y tolerancia al estrés abiótico y biótico, patógenos transmitidos por el suelo (Osorio et al., 2008).

1.1.1. Colonización Micorrízica

Antes del contacto físico entre los HMA y la planta, surgen interacciones genéticas que responden a las morfológicas y funcionales (Kiricachek et al., 2009) creando un área de superficie masiva de contacto membrana entre las células de la raíz de la planta, las estructuras de los hongos y los recursos del suelo (Hodge & Storer, 2015). También se produce una masa de micelio externo que crece más allá de la rizósfera huésped-planta, que funciona mediante la búsqueda de recursos limitados, como el agua y los nutrientes de la solución del suelo (Cruz et al., 2008), después de ser absorbidos estos minerales se transportarán al micelio intrarradical y luego al huésped (Ramos et al., 2009). La planta como recompensa le brinda a su hospedero carbono y energía (Smith & Read, 2008).

1.1.2. Estructuras principales de HMA

Las estructuras morfológicas se dividen en: “arbusculos, vesículas, células auxiliares, hifas y esporas”. Formándose estos en el interior de las raíces de las plantas (aunque las hifas y las esporas pueden formarse en la rizósfera), (Hodge & Storer, 2015).

- **Hifas Intraradicales (HI)**

Se forman al iniciarse la fase simbiótica de las células del apresorio y su crecimiento es limitado (Kiriachek et al., 2009), siendo estas el indicador de la colonización a través de su longitud enmarcada entre los HMA y la planta hospedera (A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008a; A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008b; A. C. Ramos, Façanha, Lima, et al., 2008), se componen de “micelios cenocíticos, pared celular, mitocondria, vacuolas, cristal de ergosterol, ribosomas, núcleos, retículo endoplásmico, cuerpos lipídicos, membrana plasmática, spitzkörper y aparato de Golgi” (Cruz et al., 2008). Además de translocar agua, minerales y metabolitos de la corteza de la raíz, pueden también articular por las hexosas (A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008a; A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008b; A. C. Ramos, Façanha, Lima, et al., 2008). En el interior de la zona cortical, puede apreciarse entre esporas o vesículas (Berbara et al., 2006 y Al-Qarawi et al., 2013)

- **Hifas Extraradicales (HE)**

Presnetan un crecimiento ilimitado, ya que esta sujeto a las condiciones del suelo, de acuerdo a sus funciones se dividen en tres formas, por infección, son capaces de crecer a partir del suelo a la superficie de la raíz (Redecker et al., 2013), por absorción, se originan de las células del apresorio y son capaces de incrementar la absorción de nutrientes y aumentar el movimiento de nutrientes de HE a la planta huésped vía HI (Cruz et al., 2008), y reproducción son capaces de generar esporas en la superficie del suelo (Berbara et al., 2006; Schüßler & Walker, 2010 y Redecker et al., 2013)

- **Arbúsculos**

Se desarrollan en el interior de la célula de la corteza de la raíz, sus estructuras son haustorio ramificada intrincadamente que parecen pequeños árboles, y se consideran el sitio más importante de intercambio entre el hongo y la planta huésped (Sena et al., 2004), su tiempo de vida es limitado, comienzan a colapsar después de unos días (Brundrett et al., 1985).

- **Vesículas**

Juegan un rol importante, ya que sus células están compuestas por valores altos de lípidos y glucógeno que permiten el almacenamiento de los minerales; incluso logran generar esporas que hacen de propágulos (Berbara et al., 2006).

- **Las Células Auxiliares (CA)**

Tienen funciones nutricionales y de almacenamiento (Morton & Benny, 1990).

- **Esporas**

Se originan a partir de HE, HI o vesículas (A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008a; A. C. Ramos, Façanha, & Feijó, 2008b; A. C. Ramos, Façanha, Lima, et al., 2008 y Kiriachek et al., 2009), de arreglo esférico asexual, siendo para la supervivencia, la principal unidad de los HMA (Gerdemann & Nicolson, 1963), están formadas por “lípidos, citoplasma y muchos núcleos, de paredes gruesas, multinucleadas, asumiendo formatos globosos, subglobosos o irregulares, varios colores (hialino, blanco, pálido, amarillo, rojo, rosa, marrón u oscuro) y tamaños a partir de 1000 μm de diámetro” (Dalpé et al., 2005; De Souza et al., 2005; Goto & Maia, 2006; Oehl et al., 2008 y Redecker et al., 2013). La formación de HMA ocurre generalmente dentro de 3-4 semanas después de que comience la colonización micorrízica (Berbara et al., 2006).

1.1.3. Clasificación de Glomeromycota

Los hongos más importantes que se incluyeron en el orden Glomerales de J. B. Morton & Benny, (1990), en el Phylum Glomeromycota, dividiéndose en cuatro órdenes (Archaeosporales, Diversisporales, Glomerales y Paraglomerales), en once familias, veinticinco géneros y más de doscientas especies (Redecker et al., 2013). Glomeromycota tiene sólo una clase descrita, Glomeromycetes, con los mismos caracteres (Schüßler et al., 2001).

- **Orden Archaeosporales**

Todas las especies de este orden son hipogéneas. Pueden formar dos tipos de asociación simbiótica: Endocytosymbioses: con procariontas foto autótrofos; Endomicorriza: produce micorrizas con arbusculos y vesículas dentro de las raíces de las plantas huésped. Archaeosporales se divide actualmente en tres familias: Geosiphonaceae, Archaeosporaceae y Ambisporaceae (Redecker et al., 2013).

- **Familia Ambisporaceae**

Las especies de HMA de la familia Ambisporaceae se distinguen de otras especies de Archaeosporales por: su dimorfismo; morfología única de esporas; sus características de

ADNr; propiedades bioquímicas; Y características de sus estructuras HMA: las micorrizas son mayormente arbusculares; Vesículas producidas rara vez; La tinción es típicamente muy débil (Wright et al., 1987; Graham et al., 1995; Walker, Vestberg, Demircik, et al., 2007; Walker, Vestberg, & Schüßler, 2007)

- **Género *Ambispora***

Las especies de HMA de este género pueden formar propángulos monomórficos y dimórficos, en el suelo (Walker, Vestberg, Demircik, et al., 2007). Morfotipo glomoide: El morfotipo glomoide se forma solo en el suelo o en racimos sueltos, flexibles, generalmente, este morfotipo tiene propángulos hialinos a crema pálida en color, con dos capas pared externa continua con una hifa bifamiliar subtendente. De poro abierto sellado por un septum de L2 (Walker, Vestberg, Demircik, et al., 2007 y Walker, 2008). Morfotipo de Acaulosporoide: En general, se forma este morfotipo, a partir de un pedicelo a la vez las ramas del sáculo esporífera. Los sacículos se expanden blásticamente al final de una hifa fértil y cesan su expansión al inicio de la formación de esporas. El morfotipo de acasporoide puede retener el pedicelo después del desprendimiento de sáculo o aparecen sésiles si el pedicelo se rompe en la base de esporas. Por lo general, este morfotipo tiene una pared exterior de tres capas, que L1 puede degradarse en grados variables o puede deslizarse completamente; L2 es continua con la pared interior de la ramificación del pedicelo desde el cuello del sáculo esporífera; Y L3 tiene propiedades únicas, las cuales, en combinación con L2 son diagnósticas para cada especie de este género. No existe formación de pared interna en este género (Joseph B. Morton et al., 1997; Walker, Vestberg, & Schüßler, 2007).

- **Especie *Ambispora appendicula***

Se forman solo en el suelo adyacente a las raíces; Sobre una protuberancia corta de pedúnculo hifal, de 30 a 100 μm de largo, de 20 a 50 μm de ancho, procedente de una hifa estrechada que termina en una hifa globoso e hinchado, (190-) 250 (-380) μm de diámetro., con una pared de 1-6 μm de espesor que consiste en una pared exterior de estructuras en forma de placa superpuestas y una pared interior membranosa; contenido de hifa terminal blanco opaco cuando está recién formado; el término hifal se vuelve gris-blanco, sub-hialino o transparente cuando el contenido se vacía para formar una espora; el término hifal suele persistir en esporas jóvenes, generalmente no colapsando cuando se separa de la espora en la unión de la hifa y el pedicelo. Son (170-) 250 (-390) μm diámetro, blancos opacos cuando son jóvenes, se convierten en amarillo-crema opaco cuando maduran; protuberancia de

pedúnculo hifal unida a la pared interna reticulada y formando un apéndice en la espora; con dos separables paredes que consisten cada una de dos paredes que no se separan fácilmente; La pared exterior 8-16 μm de espesor, algo rugosa, volviéndose amarilla a marrón con la edad, con un patrón irregular y reticulado de finas grietas que sirven de líneas de fractura cuando se azotea un azygosporo; segunda pared hialina, 2-6 μm de espesor, con un revestimiento alveolado. Ticulum; Retículo 8-12 x 4-8 μm ; tercera pared hialina, 4-8 μm de espesor, también con un retículo alveolado similar a la pared anterior; pared más íntima hialina lisa, 2-10 μm grueso; firme de la pared externa y difícil de romper en azygospores jóvenes, y volviéndose de color naranja-rojo con el reactivo de Melzer, pero cada vez menos rígida y tinción menos roja con el reactivo de Melzer con la edad. Hifas de paredes gruesas, rígidas y persistentes, de 12-20 (-25) μm de ancho, que se ramifican escasamente y dan lugar a hifas de pared delgada que presentan hinchazón de hifas de tipo clamidósporo terminal 120-240 (-280) μm diam, Con una pared gruesa, 2-8 (-12) μm , frecuentemente con una capa externa mucilaginosa con restos adheridos. Las estructuras de tipo clamidósporo se presentan solas u ocasionalmente en racimos sueltos y pueden funcionar como propángulos; también soportadas en hifas de paredes delgadas son las extremidades de hifas hinchadas de pared delgada (1-2 μm), globosas (40-80 μm) o elipsoidales (68-120 x 54-112 μm) que se colapsan fácilmente en lactofenol (Schenck et al., 1984).

- **Orden Diversisporales**

Las especies HMA de este orden son hipogéneas o parcialmente hipogéneas. Forman micorrizas arbusculares con arbusculos, a menudo carentes de vesículas y células auxiliares (Schüßler et al., 2001).

- **Familia Acaulosporaceae**

Todas las especies de esta familia forman esporas sobre / o en el interior de una hifa cilíndrica o en forma de embudo que termina en un sáculo esporífero; Sésiles después del desprendimiento del sáculo cuello (Schüßler et al., 2001).

- **Género Acaulospora**

Todas las especies de este género producen sáculo esporífera que se desarrolla a partir de una punta de hifa. Después de que el sáculo se haya expandido completamente, una espora

comienza a desarrollarse lateralmente en el cuello del sáculo esporífico. Las esporas se forman solas en el suelo; generalmente muestran una forma globosa o subglobosa; con contenido oleoso. A medida que madura la espora, el sáculo pierde su contenido y eventualmente se desprende de modo que a menudo no se adhiere a esporas maduras (= sésiles) (Gerdemann & Trappe, 1974). Sus especies pueden formar micorrizas con vesículas y arbuscúlos lobados (Kaonongbua et al., 2010).

Este género se encuentra en menor medida en los trópicos y esta en mayor afinidad con los suelos de pH bajos, mientras que el género *Glomus* abarca su diversidad en los trópicos, básicamente en la zona del Trapecio Amazónico (Garzón, 2016).

- **Especie *Acaulospora rugosa***

Joseph B. Morton, (1986) nos dice que las esporas formadas solo en el suelo, son sub-hialina a paja, en su mayoría globosa a sub-globosa (70-) 102 (-128) μm diámetro. Las paredes de las esporas constan de 5 capas en 3 grupos (A, B, C). Grupo A que consta de 2 capas (L1, L2). L1: capa hialina de 1-1,5 μm de espesor, esta capa se degrada cuando están maduras y puede estar completamente ausente (especialmente las recogidas de los suelos de campo), esta capa aparece arrugada o rugosa. L2, laminado, amarillo pálido (1-) 1,5 (-2) μm de espesor. El grupo B consiste en L3, una capa hialina semirrígida de 1-1,3 μm de grosor. Grupo C que consta de dos paredes germinales.

La pared germinal 1 es membranosa con aspecto débilmente rebordeado y compuesta por dos subcapas poco adherentes entre sí. La pared germinal 2, rígida, de 1-2.5 μm de espesor, se vuelve púrpura oscuro o rosa naranja en el reactivo de Melzer, compuesto por dos subcapas vistas como una capa. Hifa en el punto de unión de esporas (9-) 13.6 (-18) μm de ancho y el poro está ocluido. En algunas esporas trituradas, las capas de pared de esporas se separan y la pared germinal 2 es visible como un núcleo morado oscuro. Joseph B. Morton, (1986) aisló esta especie de la rizósfera de *Fragaria rubra* Y F. arundinacea en Virginia Occidental por primera vez. En las esporas extraídas, la subyacente a la hifa en el punto de unión era más amplia que para la descripción (10-14 μm) (Morton, 1986).

1.2. Inoculación de HMA en leguminosas

El cultivo de leguminosas altamente micorrízica puede aumentar el potencial de inóculo de los HMA en suelo, tanto de la región del cultivo, así como de zonas vecinas, y esto puede ser particularmente importante en situaciones de monocultivos permanentes, como es el caso del café y de los cítricos (Colozzi Filho & Cardoso, 2000). Las especies vegetales como las leguminosas que se encuentran en estas simbiosis son indicadas para aumentar la materia orgánica del sistema en condiciones de baja fertilidad y para la recuperación de las áreas degradadas (Rangel, 2011). Las leguminosas con una alta dependencia micorrízica consiguen incrementar el comprendido potencial de inóculos micorrízicos y en esencia la absorción de P (Martín et al., 2010)

Los HMA estimulan la actividad fijadora de nitrógeno, debido fundamentalmente a su efecto en el mejoramiento de la capacidad de absorción del fósforo de suelo, lo que constituye un aporte importante, si se tiene en cuenta que durante el proceso de fijación biológica de N₂ por las leguminosas se genera una alta demanda de fósforo en forma de ATP. Para las leguminosas el fósforo constituye un nutriente de especial importancia, pues realiza funciones vitales en la planta, fundamentalmente las relacionadas con la asociación de esta especie con bacterias del género *Rhizobium*. De ahí que una cuestión de gran importancia en cuanto a la nutrición fosfórica de esta familia sea la facultad de formar endomicorrizas, cuyo efecto mutualista beneficioso se traduce en una serie de ventajas fisiológicas y de aportes esenciales (Guzmán Plazola & Ferrara-Cerrato, 1990).

1.3. Compatibilidad funcional entre HMA y leguminosas.

Smith & Gianinazzi-Pearson, (1988) acuñaron el término “compatibilidad funcional” por resaltar la expresión fenotípica de un HMA como resultado de la influencia del ambiente sobre la expresión genotípica de ambos simbiote, lo que en condiciones naturales es más frecuente en comparación a condiciones experimentales. En los últimos años se busca el grado de compatibilidad entre plantas de interés productivo comercial con la diversidad de HMA, determinado mayor grado de especificidad de esta relación y por ende el beneficio (Viasus Triana, 2015), siendo vital la identificación de cepas nativas asociadas a cada cultivo. En una investigación en arveja se reportó la compatibilidad existente entre los HMA y las leguminosas, ya que la mayoría de las variables evaluadas donde se inoculó con HMA mostraron resultados positivos, como es el caso de la variable producción, hubo diferencias significativas, siendo el inóculo con mejores resultados el que contenía esporas de

“*Acaulospora elegans*, *Acaulospora* sp1, sp2, sp6, *Ambispora callosa*, *G. glomerulatum*, *G. macrocarpum* y *Glomus* sp”(Viasus Triana, 2015). Otra investigación realizada por (Carvalho et al., 2010), demostró en la leguminosa *Cajanus cajan* en condiciones de campo que existe una diferencia significativa de la colonización micorrízica, obteniendo entre el 65 y el 40%, para las variedades de Forrajero y Petrolina respectivamente. Esta diferencia puede estar relacionada con la comunidad de HMA, siendo encontradas especies de los géneros: “*Scutelospora*, *Acaulospora*, *Ambispora* y *Glomus*” (Rangel, 2011), reportó que *Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora morrowiae* y *Acaulospora* sp, presentan un aumento de 30 % de materia seca de la parte aérea, el contenido de P en la parte aérea fue incrementado por el aislado *Acaulospora morrowiae*, concluyendo que la especie *Crotalaria juncea* demostró ser dependiente de la simbiosis micorrízica en esta condición probada, ya que todos los aislados de HMA contribuyeron al aumento de su producción de MSPA. Martín et al., (2010) realizó estudios demostrando una alta compatibilidad utilizando Canavalia y HMA, donde la biomasa seca y absorción de nutrientes fueron indicadores del grado de respuesta, apreciándose mayor biomasa seca en canavalia, en comparación al uso de diferentes cepas de *Glomus cubense*. Cuenca et al., (2007), desarrollaron la inoculación de HMA en una leguminosa a condiciones de suelos muy ácidos (las especies “*Glomus manihotis*, *Scutellospora fulgida*, *Entrophospora colombiana*”), apreciándose menor concentración de esporas en *Acaulospora lacunosa*, mientras que mayor fue la concentración en *Entrophospora colombiana*.

1.4. Suelos degradados

La sobreexplotación del recurso suelo, bajo practicas no sostenibles, sumados a las presiones sometidas por aceleramiento del cambio climático, resalta la preocupación de carácter nacional e internacional (SERFOR-Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2018). Dentro de las actividades no sostenibles se resalta a la agricultura migratoria como la principal causante de la degradación directa de suelos en la Amazonía Peruana (Cerrón Macha et al., 2017), se aproximan a 650 000 000 ha de tierras han sido deforestadas y por ende degradadas en el Caribe y América Latina (Potapov et al., 2011).

1.5. Descripción de los tipos de leguminosas

Cajanus cajan.

Castillo-Gómez et al., (2016) de uso múltiple para consumo humano y animales, desde semillas enteras hasta harina. Se usa como abono verde, forraje, con sus ramas y vástagos para combustible, mejora las condiciones del suelo, además de fijar N atmosférico a través de las bacterias de género *Rhizobium*. Se aprecian de distintas variedades y tamaños desde 1.50 m hasta los 4.00 m de altura (Salisbury & Roos, 2012). Posee un sistema radicular que alcanza hasta los 3 m, por lo que se adapta a condiciones extremas de sequía, además de descompactar los suelos (Salisbury & Roos, 2012). En el peciolo se aprecia un par de estípulas de forma triangular de longitud de hasta 6 mm, de distribución alterna las hojas, además compuesta por folíolos de forma elíptica de 4,5 cm y 12 cm (Atlas de botánica., 2013).

Presenta inflorescencia racimosa de flores pediceladas de 8cm de longitud, una bractea de 4 mm acompaña a cada flor, el cáliz de 6 mm de longitud cubierto por tricomas que hacia el ápice se divide en 5 lóbulos triangulares de 7 mm de largo, de color amarillo pálido a intenso es la corola acompañada de rayas cafés, con 5 desiguales pétalos (Bieto & Talon, 2014).

Los frutos son “legumbres oblongas”, de 1,7 cm y 13 cm entre el ancho y largo, de forma ligeramente curvados a recto, de color pajizo acompañados de líneas de color lila, por lo general se muestran protegidos por tricomas (Talon, 2010).

Crotalaria juncea

Especie nativa de Pakistán e India, desde muchos siglos ha sido sembrada en el Sudeste Asiático con fines de abono verde, actualmente se siembra en casi todas las zonas subtropicales y tropicales del mundo, incluso logra su desarrollo durante el verano en el sur de los E.E.U.U. (Qingren et al., 2019). Existen aproximadamente 500 especies nativas de Africa, logrando tallos desde 1.8 a 2.4 m, considerada como el abono verde más principal en la agricultura (Duke, 1983).

Especie herbácea de hojas oblongo – lanceoladas, de 12.7 cm x 3,56 cm, cubierta por tricomas dispuestas en espiral, su ramificación se da aproximadamente a los 51 cm de altura, produciéndose su floración a las 8 semanas después de su siembra, caso de Homestead, Florida, E.E.U.U, si se siembra a los 120 días empieza su floración (Qingren et al., 2019).

Canavalia ensiformis

El quizás uno de los ma prominentes cultivos estudiados actualmente, abasteciendo principalmente a las zonas húmedas tropicales, como cobertura y abono verde (Cuellar Guzman et al., 1997). Abastece de alimentos para ganado bovino y ovinos a través de su forraje y semilla, desde no- rumiantes y rumiantes, para el caso de los no – rumiantes requiere de tratamiento físico, químico o de ambos, con la finalidad de eliminar los factores anti nutricionales (Rodriguez Urrutia, 2000). Considerada como especie nativa de América, registrándose en Perú, Brasil, Guyana, Panamá e Indias Occidentales, sin embargo, es muy cultivada en Kenia, Taiwán, Hawaii y la India, además de desarrollarse al este de África (Rodriguez Urrutia, 2000).

Especie de tallo erecto, con formación de guías, alcanzando desde los 60 cm a 120 cm de altura, con hojas de distribución alterna y tres foliolos (trifoliados), de tonalidad verde oscuro y brillante, de nervaduras de alto relieve sobre el haz, de inflorescencia axilar en racimos, la flor de color roja a violácea. Fruto plano y duro de aproximadamente 3 de ancho y 35 cm de largo, contenida entre 4 a 20 semillas grandes de color blanco con forma redondeada a ovalada (Rodriguez Urrutia, 2000). Se aprecia esta especie adaptada a las condiciones edafoclimáticas de Cuba, por lograr reciclar significativas catidades de P y K, a partir de la vía fijación biológica del nitrógeno (FBN), logrado del N atmosférico (García Rubido et al., 2017a)

Vigna unguiculata

Especie de fotoperíodo corto, en caso de enredaderas pueden presentar flores y frutos maduros al mismo tiempo, por lo que se tienen entre tres a cuatro cosechas, mientras que en base las variedades arbustivas su floración y producción de frutos hasta su maduración son uniformes. Su rendimiento es muy variable desde los 808 a 969 kg/ha, incluso reportándose hasta 2908 kg/ha (Binder, 1997).

Es una especie anual, encontrándose variedades de crecimiento rastrero, semi-erecto y erecto, presentando un ciclo vegetativo muy variable, siendo en variedades tardías (desde los 120 hasta los 150 días), semi-tardías (desde los 80 hasta los 120 días) y variedades precoces (desde los 60 hasta los 80 días), éstas dos ultimas por lo general son enredadera y de frutos largos (Binder, 1997).

Se adapta a zonas de baja precipitación anual, desde los 250 a 1000 mm, esto hace posible su adaptación ya que presenta un sistema radicular profundo, de ser una planta baja, la gran cantidad de ramas le permite alcanzar mayores rendimientos, sus hojas son de tres foliolos (trifolios) desde ovoides a lanceolados, el foliolo central es de mayor tamaño, el color de las hojas son verde intenso (Binder, 1997).

El primer tallo floral se desarrolla en la parte media, en la axila entre las hojas y el tallo, siendo una floración descendente, de flores blancas amarillentas hasta azul violeta, de longitud promedio 3 cm, de estas solo 3 a 4 logran convertirse en frutos, de características cilíndrico, recto o apenas curvado, colgante y compactado sobre la semilla, como es liso, dehiscente y pergamino (Oporta Pichardo & Rivas Cáseres, 2006), las semillas son de color café, pardo, púrpura, blanco y amarillo, además de variar en textura y tamaño, en cuanto a sus dimensiones se registra desde los 4 a 8 y 3 a 4 mm (Binder, 1997).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Materiales de invernadero

- Arena de río
- Tierra negra
- Regla
- maceta de polietileno rígido de forma troncocónica
- semillas de leguminosas
- Inóculos de especies de HMA

Materiales de laboratorio

- Tubos falcón 50ml
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Placas de Petri
- Placa concéntrica
- Vidrio reloj
- Contómetro

Reactivos e insumos

- Ácido acético
- Tinta Parker
- Glicerol
- Agua oxigenada
- Solución de sacarosa 70%
- Ácido láctico
- Hidróxido de potasio

Equipos

- Centrífuga
- Microscopio
- Estereomicroscopio
- Estuche de disección
- Tamices (250 y 45um)
- Baño maría
- Balanza

Materiales de oficina

- Papel bond A4.
- Computadora.
- Cuaderno de apuntes.
- Plumón indeleble
- Lapicero.
- Regla.
- Calculadora
- Cinta masking tape

2.2 Métodos

2.2.1 Ubicación y caracterización del área de estudio

Se realizó en ambientes de la Ciudad Universitaria (6° 29.065'S; 76° 22,038'W) de la “Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ciencias Agrarias”, específicamente en el Invernadero y Laboratorio de Microbiología Agrícola “Raúl Ríos Reátegui”(figura 1), ubicada en el distrito de Morales, provincia de San Martín, departamento de San Martín, Perú. El área de estudio se caracteriza por presentar una altitud 290 msnm. La precipitación anual promedio es de 1200 mm, la temperatura promedio es de 26° C y la humedad relativa es del 70%, considerando estas características como un ecosistema de bosque seco pre montano tropical.



Figura 1. Áreas de estudio utilizadas en la ejecución del experimento. **A:** Invernadero de Producción de HMA en plantas de leguminosas, **B:** Laboratorio de Microbiología Agrícola “Raúl Ríos Reátegui”. FCA-UNSM.

2.2.2 Descripción del Experimento

Consistió en la siembra de leguminosas en macetas que contenían una mezcla de arena y tierra agrícola (sustrato) y la inoculación de especies de HMA en el invernadero del laboratorio mencionado, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 4X4 , considerando al factor A (Leguminosas de cobertura) y el factor B (Hongos micorrízicos arbusculares), siendo 16 tratamientos con 3 repeticiones por tratamiento, así mismo constituido por 48 unidades experimentales, como se indica en la tabla 1, al terminar su periodo en invernadero se evaluaron indicadores agronómicos (Altura, número de hojas, biomasa fresca y biomasa seca, porcentaje de colonización, número de esporas y contenido de fósforo).

Tabla 1.*Componentes de estudio*

Factores	Tipo de factor	Niveles de factores	Descripción de los factores
A	Leguminosa de cobertura	A ₁	<i>Cajanus cajan</i>
		A ₂	<i>Crotalaria juncea</i>
		A ₃	<i>Canavalia ensiformis</i>
		A ₄	<i>Vigna unguiculata</i>
B	Hongo micorrízico arbuscular (HMA)	B ₁	sin inoculo
		B ₂	<i>Acaulospora rugosa</i>
		B ₃	<i>Acaulospora sp.</i>
		B ₄	<i>Ambispora appendicula</i>

Tabla 2.*Descripción de los tratamientos en estudio.*

Tratamientos	Leguminosa de cobertura	Especies de HMA
T ₁	<i>Cajanus cajan</i>	sin inoculo
T ₂	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Acaulospora rugosa</i>
T ₃	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Acaulospora sp.</i>
T ₄	<i>Cajanus cajan</i>	<i>Ambispora appendicula</i>
T ₅	<i>Crotalaria juncea</i>	sin inoculo
T ₆	<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Acaulospora rugosa</i>
T ₇	<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Acaulospora sp.</i>
T ₈	<i>Crotalaria juncea</i>	<i>Ambispora appendicula</i>
T ₉	<i>Canavalia ensiformis</i>	sin inoculo
T ₁₀	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Acaulospora rugosa</i>
T ₁₁	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Acaulospora sp.</i>
T ₁₂	<i>Canavalia ensiformis</i>	<i>Ambispora appendicula</i>
T ₁₃	<i>Vigna unguiculata</i>	sin inoculo
T ₁₄	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Acaulospora rugosa</i>
T ₁₅	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Acaulospora sp.</i>
T ₁₆	<i>Vigna unguiculata</i>	<i>Ambispora appendicula</i>

2.2.3 Población y Muestra

2.2.3.1 Población

Se utilizó especies predominantes de HMA seleccionados a partir de suelos degradados de las localidades de “Chirikyacu, Vista Alegre, El Chontal, San Antonio, Aucaloma y Shapumba”, pertenecientes a la sub cuenca de Cumbaza proporcionadas por el banco micorrízico del laboratorio de Microbiología agrícola de la UNSM-T.

Las leguminosas con las cuales se realizó el ensayo provienen de la empresa Agropecuaria SAIU SRL.

2.2.3.2 Muestra

En cada maceta se utilizó 100 esporas. De acuerdo al diseño experimental se utilizaron 400 esporas de *Acaulospora rugosa*, 400 esporas de *Acaulospora* sp. y 400 esporas de *Ambispora appendicula*.

En cada maceta se sembró 2 semillas. Según los tratamiento se utilizó 24 semillas de *Cajanus cajan*, 24 semillas de *Crotalaria juncea*, 24 semillas de *Canavalia ensiformis* y 24 semillas de *Vigna unguiculata*, haciendo un total de 96 unidades de semilla.

2.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A. Obtención de inóculo de especies de HMA

Las especies de HMA se obtuvieron del banco de cepas de HMA del laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias (Figura 2A). Una de las actividades de la primera etapa del proyecto consistió en tomar muestras de suelo de áreas degradadas de la subcuenca de Cumbaza en San Martín, específicamente de las zonas de Chirikyacu, Vista Alegre, El Chontal, San Antonio, Aucaloma y Shapumba, en las cuales se identificaron 11 morfotipos nativos de HMA, siendo los más predominantes los géneros *Acaulospora*, especie *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp. y género *Ambispora*, la especie *Ambispora appendicula*, especies que se trabajó en el experimento (Figura 2BCD).

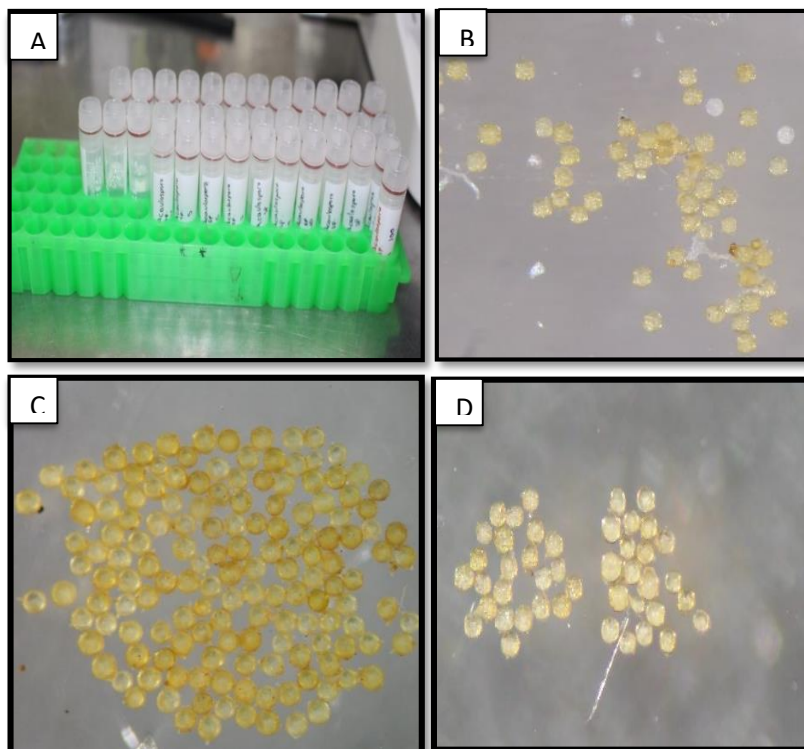


Figura 2. Obtención de inóculos de HMA. A: Crioviales con 100 esporas de HMA, B: Esporas de Acaulospora sp., C: Esporas de Ambispora appendicula y D: esporas de Acaulospora rugosa.

B. Preparación de sustrato

El sustrato consistió en mezclar arena lavada de río y suelo agrícola colectado en el sector Cumbacillo, Tarapoto. Antes de realizar la homogenización, se lavó la arena en un recipiente con abundante agua hasta obtener la arena limpia notándose por un color claro, se secó a temperatura ambiente y se colocó en sacos de yute de aproximadamente 4 kilos para ser esterilizados en autoclave por una hora a 121°C y luego en la estufa a 70°C, por 24 horas, este procedimiento se repitió 3 veces. Posteriormente se mezcló la arena y suelo en proporción 2:1 respectivamente y antes de colocar en las macetas se verificó si existe la presencia de esporas de HMA viables. Seguidamente se colocó en las macetas aproximadamente 4 Kg del sustrato, previamente lavadas con detergente y desinfectadas en hipoclorito de sodio (Figura 3, A, B, C, D, E Y F). Se tomó muestras de la mezcla de sustrato para realizar análisis químicos.



Figura 3. Preparación del sustrato A). Lavado de arena, B). Esterilización de muestra en Autoclave, C. Esterilización de muestra en Estufa, D. Desinfección de macetas, E. Homogenización de sustrato, F. Maceta con sustrato.

Las características fisicoquímicas del suelo se muestran en la Tabla 3, donde se puede observar que estos suelos son moderadamente ácidos y tiene regular fertilidad.

Tabla 3.

Características fisicoquímicas del sustrato utilizado para el desarrollo de las Leguminosas.

Muestra	pH	C.E. μS/cm	N %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			Clase Textural
							Arena %	Arcilla %	Limo %	
Sustrato	6.1	154.3	0.1715	3.43	8.9	119.1	19	37	44	Franco arcilloso limo

Metodologías de análisis: pH (potenciometría, relación suelo: agua 1: 2.5, potenciómetro SI Analytics Lab 850, Alemania), CE = conductividad eléctrica (conductividad, relación suelo: agua 1: 2.5, SI Analytics Lab 960, Alemania), N = nitrógeno (Micro Kjeldahl), OM = materia orgánica (Walkley y Black), P = fósforo extraíble (Olsen modificado), K = (por extracción de acetato de amonio y cuantificación en espectrofotómetro de absorción atómica GBC, SavantAA, Australia) y textura (hidrómetro Bouyoucos).

C. Desinfección de semillas

Las semillas de leguminosas de cobertura *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Vigna unguiculata* y *Canavalia ensiformis* se desinfectaron (Figura 4) colocando en alcohol al 70% durante 1 minuto y se enjuagaron con agua destilada por 5 veces, seguidamente se añadió hipoclorito de sodio al 2% durante 5 minutos y se enjuagó con agua destilada por 10 veces hasta a eliminar residuos de hipoclorito de sodio.

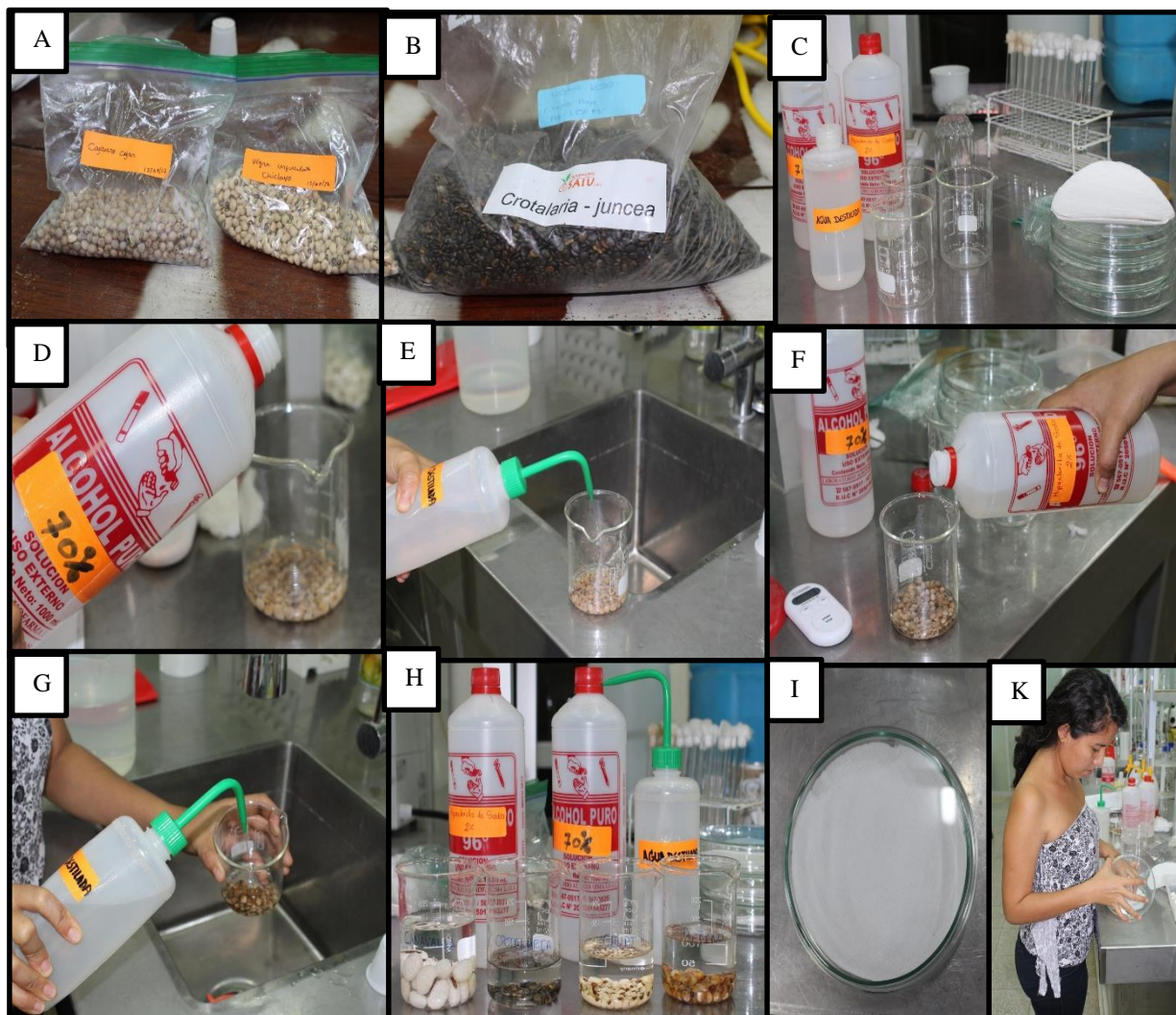


Figura 4. Proceso de desinfección de las semillas de leguminosas de cobertura A) Semillas de *Cajanus cajan*, *Vigna unguiculata* en bolsitas de ziploc B) Semillas de *Crotalaria juncea* C)Materiales e insumos utilizados para la desinfección D)Aplicación de alcohol al 70% en semillas durante 1 minuto E)Enjuagando con agua destilada F)Aplicación de hipoclorito de sodio al 2%, G)Enjuague con agua destilada 10 veces H)Semillas de *Canavalia ensiformis*, *crotalaria juncea*,*vigna unguiculata* y *cajanus cajan* desinfectadas I) Placas Petri con papel absorbente K) Ubicando las semillas en las placas Petri.

D. Inoculación de las especies de HMA asociados a las leguminosas de cobertura

En cada maceta que contiene el sustrato se sembró 2 semillas de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, *Vigna Unguiculata* y *Canavalia ensiformis* haciendo un orificio de 2 centímetros de profundidad, luego se inoculó a cada tratamiento con 100 esporas de HMA, de acuerdo al diseño según los tratamientos (Figura 5, A, B Y C).

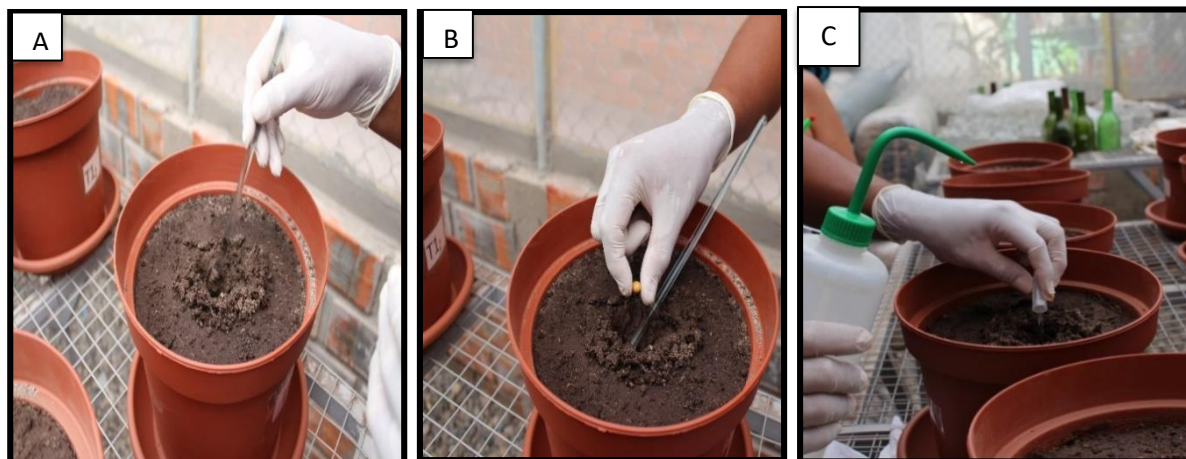


Figura 5. A). Orificio para siembra de semilla e inoculación de HMA, B). Siembra de semilla de leguminosas y C). Inoculación de esporas de HMA.

E. Programa de fertilización y riego

Con base en el análisis de suelo (Tabla 3) realizado al sustrato y de acuerdo a las características que mostró la planta se vió conveniente realizar cada 30 días la aplicación de 200 ml de solución nutritiva Hoaglan libre de fósforo , con el fin de aportar nutrientes, como N, K, Ca, S, Mg. El riego de las unidades experimentales se realizó inter-diario con agua destilada tratando de mantener el suelo a capacidad de campo.

2.4.5 Indicadores evaluadas

Los indicadores morfológicas de las leguminosas de cobertura se evaluaron al finalizar el periodo en invernadero. Las leguminosas, *Vigna unguiculada* y *Canavalia ensiformis* terminaron su etapa en invernadero a los 60 días después de la siembra y las leguminosas *Crotalia juncea* y *Cajanus cajan* a los 120 días después de la siembra.

2.4.5.1 Indicadores morfológicos de la leguminosa: Altura de planta, número de hojas, biomasa fresca parte aérea y biomasa seca parte aérea

Para medir altura de la planta se utilizó una regla metálica de 1 metro, se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, el conteo de número de hojas se hizo visualmente, para los indicadores de biomasa fresca y seca de la parte aérea de las leguminosas, se realizó el corte de las plantas y se pesó en una balanza para obtener el peso fresco. Para obtener el peso seco se dejó las muestras en la estufa a 70° C por 48 horas, dentro de un sobre manila y después se pesó en la balanza analítica. (Figura 6, A, B, C, D y E)



Figura 6. A) Evaluación de altura de planta, B) Evaluación de número de hojas, C) Corte de planta, D) Peso de biomasa fresca, E) Secado en estufa y F) Peso de biomasa seca.

2.4.5.2 Indicadores de desarrollo biológico del HMA

A. Porcentaje de colonización micorrízica

Las raíces de las leguminosas conservadas en alcohol etílico al 70% fueron lavadas con agua. Posteriormente se procedió a la tinción de raíces utilizando el Método de clareo y coloración

de raíces (Vierheilig et al., 1998) modificado, que consistió en colocar en KOH al 10% por 4 horas, al cabo de las 4 horas Se colocaron en baño María por 25 minutos a 90 °C constante, después se añadió peróxido de hidrógeno 20 volúmenes dentro de los tubos falcón recién retirados de Baño María, agitando cuidadosamente con una varilla por un corto tiempo hasta obtener un color amarillo palo, para clarificar mejor las raíces. La coloración de las muestras debe estar inmersas en una solución conteniendo tinta parker al 5%, para teñir las raíces, fueron colocadas durante 1 minuto a 90° C en baño maría. (Figura 7, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J y K).

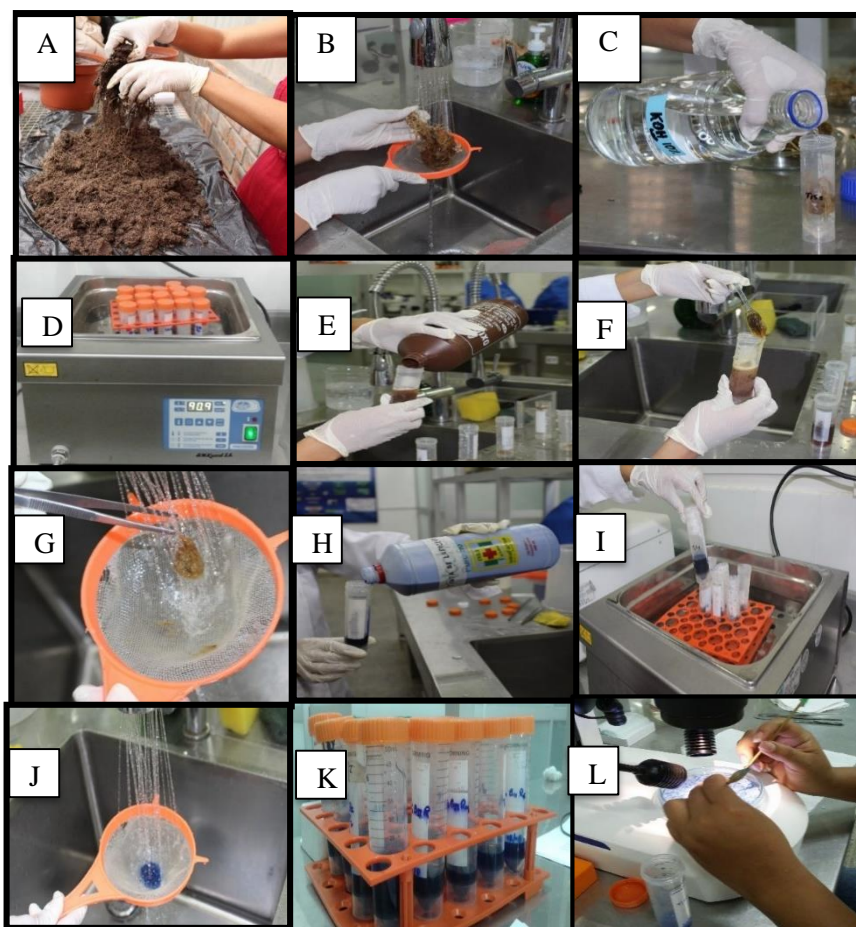


Figura 7. A). Separación de suelo y raíces, B). Lavado de raíces, C). Adición de KOH, D). Muestra en estufa, E). Adición de alcohol yodado, F). Muestra clareada, G). Lavado de raíz, H). Aplicación de tinta, I). Muestra en estufa, J). Lavado de muestra teñida, K). Muestra teñida. y L) La muestra de raíces observada en el estereomicroscopio binocular

Posteriormente se realizó la metodología de Giovannetti & Mosse, (1980) consiste en dispersar las raicillas teñidas en una placa Petri cuadrículada (1.27 x 1.27cm) en solución de lactoglicerol, donde fueron evaluadas los fragmentos de raíces conteniendo estructuras fúngicas de los HMA (hifas, vesículas, arbuscúlos, esporas) vistas en un estereoscopio binocular. Se observó cada campo visual, la intersección de las raíces con la línea horizontal,

anotando la presencia o ausencia de colonización micorrízica del segmento de la raíz que está en contacto con la línea de la cuadrícula (Figura 8).

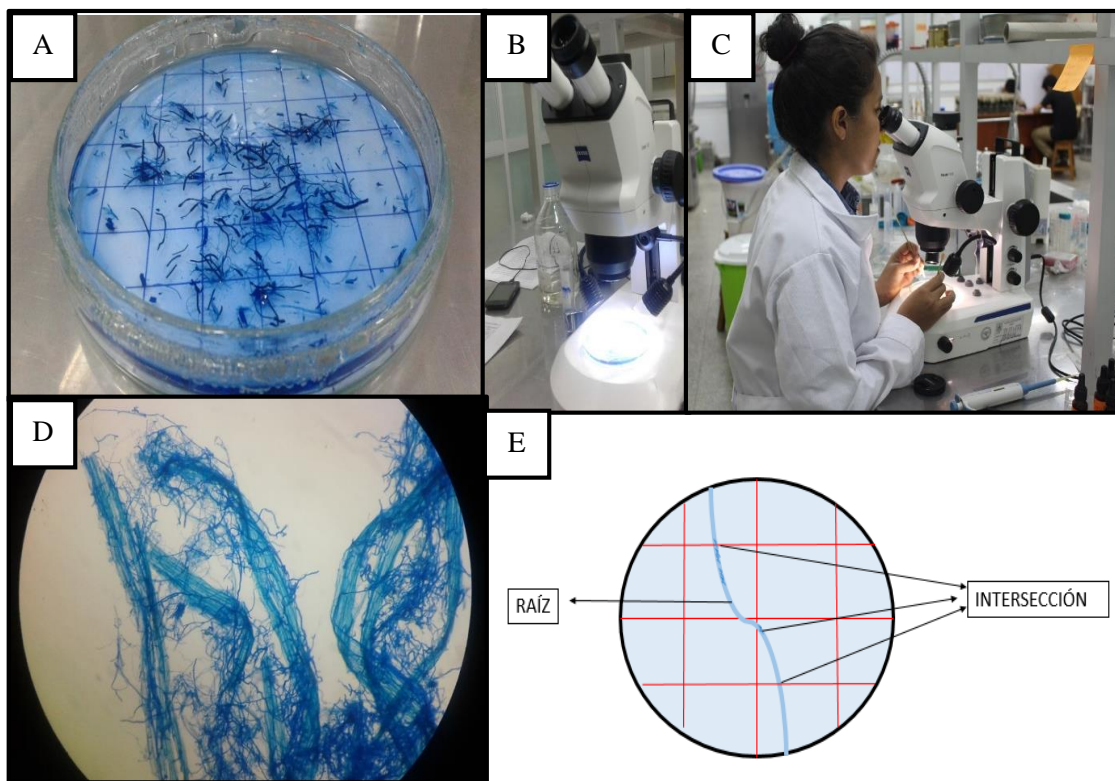


Figura 8. Proceso para determinar el porcentaje de colonización micorrízica: A) Segmentos de raíces en placa cuadrículada. B) Estereoscopio binocular. C) Observación de segmentos de raíces en el estereoscopio D) Estructuras de HMA en raíces. E) Forma de evaluación de cada segmento de raíz.

Con los datos obtenidos de las evaluaciones se determinó el Porcentaje de colonización micorrízica mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ Segmentos colonizados}}{\text{N}^{\circ} \text{ Total de segmentos evaluados}} \times 100$$

B. Población de esporas de HMA

Para estimar la población de esporas, se utilizó el método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann & Nicolson, 1963) con modificaciones. La extracción fue realizada en una muestra de 15 g de suelo, fue pasado por tamices de 710 y 53 micras en secuencia, para retener las esporas. El material retenido en el tamiz de 53 micras se colocó en tubo falcón, se completó a 40 ml con agua destilada para luego ser llevada a centrifugar por 5 minutos a 3500 RPM, se eliminó el sobrenadante, y luego se completó con agua destilada hasta 20 ml y sacarosa al 70 % hasta completar 40 ml, estos fueron llevados nuevamente a centrifugar,

por 5 minutos a 3500 RPM, pasado el tiempo en centrifuga se pasó el sobrenadante que contiene las esporas por el tamiz de 53 micras, y se lavó con agua para eliminar la sacarosa de las esporas. Las muestras contenidas de esporas de HMA se colocaron en placas reloj para realizar la observación en el Estereomicroscopio y luego se procedió a contar el número de esporas en cada placa. (Figura 9).

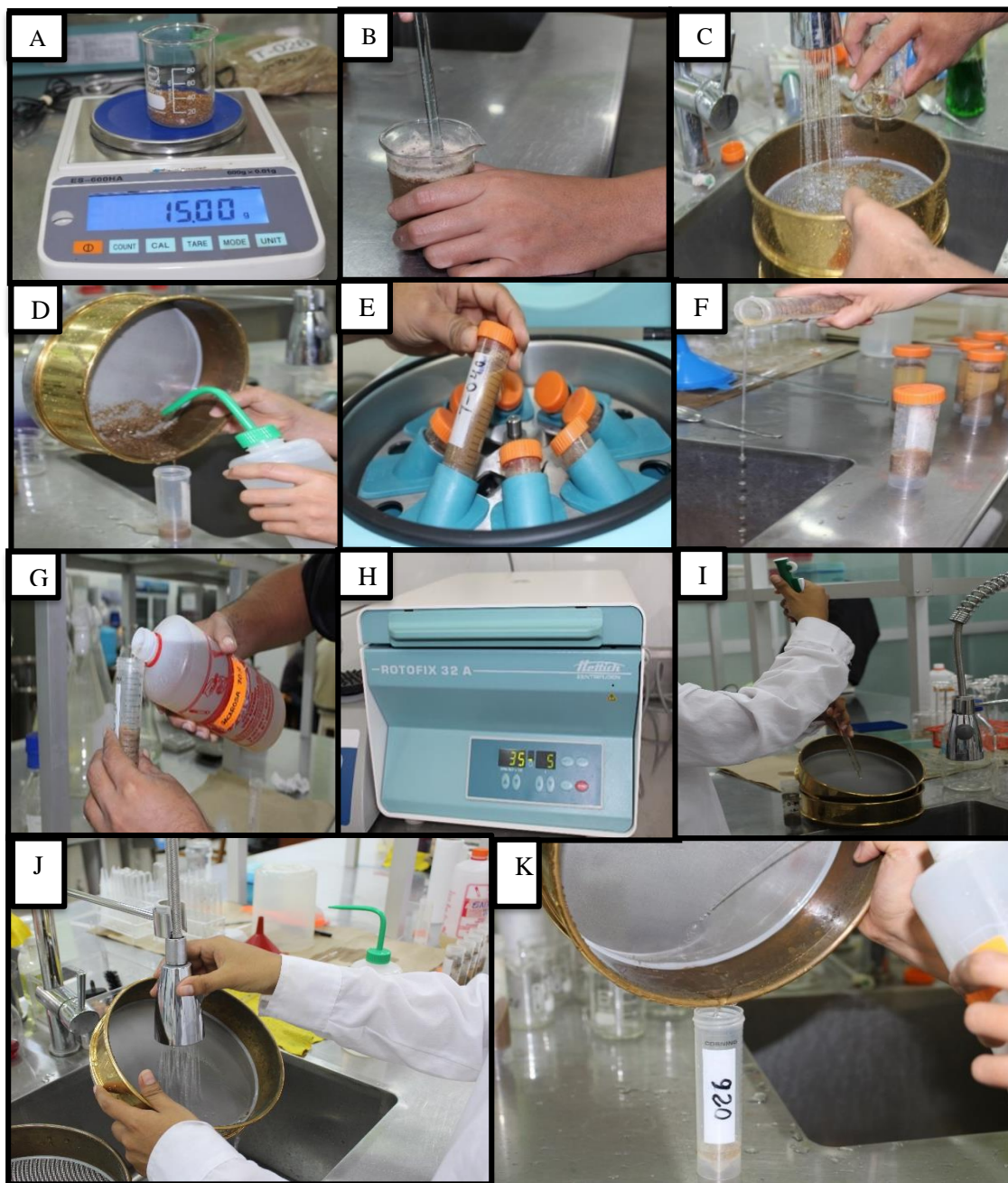


Figura 9. A). Peso 15 g de muestra, B). Homogenización de muestra, C). Dispensión en tamiz, D). Colocación de muestra en tubo falcon, E). Centrifugado de muestra, F). Dispensión de sobrenadante, G). Adición de sacarosa al 70 %, H). Centrifugado nuevamente, I). Dispensión de muestra en tamiz, J). Lavado de esporas y K) Conservación de esporas con agua destilada en tubo falcon.

De cada muestra procesada por la técnica de tamizado y decantación se tomaron 10 ml de cada uno de ellas, de acuerdo a (Schenck et al., 1984), luego se colocaron sobre una placa petri para realizar el conteo, lograndose con la ayuda de un contómetro y estereomicroscopio 40 X, realizandose por cada muestra tres repeticiones (Figura 10).

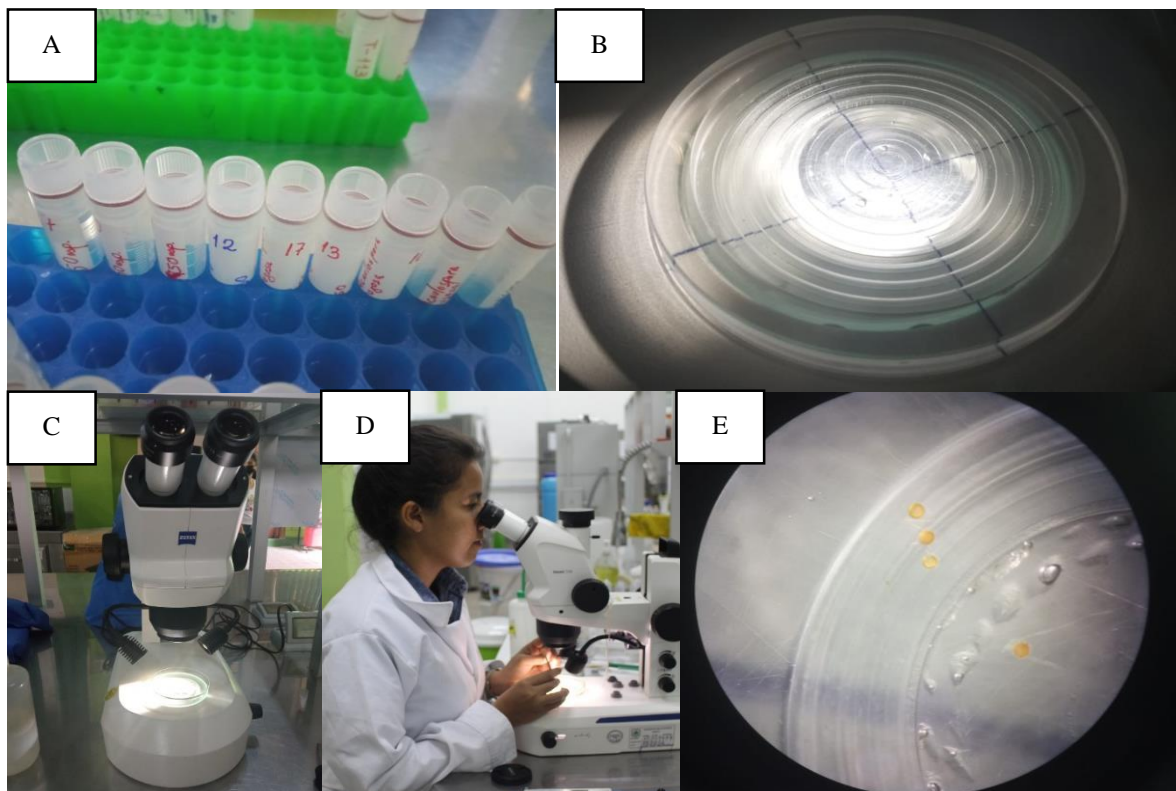


Figura 10. Procedimiento del conteo de esporas A) Crioviales con esporas de HMA en agua destilada, B) Depósito de la muestra en la placa concéntrica, C) Estereomicroscopio binocular, D) Observación en el estereomicroscopio binocular, E) Esporas viables observadas .

2.4.5.3 Concentración de fósforo foliar

Para evaluar la concentración de fósforo foliar se procedió a pulverizar la muestra de biomasa seca y se colocó en microtubos para la evaluación de Digestión ácida nítrica perclórica. Lectura espectrofotómetro U.V visible 600 nm en el laboratorio de análisis de agua y suelos, de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSM, Tarapoto.

2.4.6 Análisis estadístico

Los datos de Altura, número de hojas, biomasa fresca y biomasa seca, fueron transformados a \sqrt{x} , mientras que para los datos del indicador porcentaje de colonización y fósforo se utilizó la transformación de Bliss o transformación angular $\text{Arcsen } \sqrt{x\%}$ (Box y Hunter, 1989), para número de esporas se transformó en $\text{Log}(X)$. Para el procesamiento de datos, se

utilizó el software MINITAB 18. Los datos fueron sometidos al Análisis de Varianza (ANVA) y para la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Indicadores morfológicas

La capacidad de simbiosis entre una planta y un HMA, se ve efectiva si esta influye de manera positiva en el crecimiento y desarrollo, por ende, mejorando rendimientos, así como los HMA se vean beneficiados en la multiplicación de propágulos en el suelo, mientras incrementa la magnitud de beneficios en ambos, como respuesta será mayor su efectividad (Martín et al., 2010).

A continuación se describen los indicadores relacionadas a este ítem:

3.1.1 Altura de la planta

La tabla 4 muestra el análisis de varianza para la altura de planta (cm) de leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero, donde indica que estadísticamente existen diferencias significativas, para las leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de Leguminosa y Hongo Micorrízico Arbuscular (AxB) mostrando un Coeficiente de Variabilidad (C.V) de 1,72 % y un Coeficiente de Determinación (R²) de 99,02 %, resultados que se encuentran dentro del rango aceptable de dispersión para trabajos realizados en vivero según (Calzada Benza, 1964).

Tabla 4.

Análisis de varianza para la altura de leguminosas de cobertura (cm), evaluados en condiciones de vivero.

Fuente de Variación	GL	SC	MC	Valor F	Valor p
Modelo	15	179.367	11.9578	215.45	0.000
Lineal	6	103.810	17.3016	311.73	0.000
Leguminosas	3	79.997	26.6657	480.44	0.000
HMA	3	23.813	7.9376	143.01	0.000
Interacciones de 2 términos	9	75.558	8.3953	151.26	0.000
Leguminosas*HMA	9	75.558	8.3953	151.26	0.000
Error	32	1.776	0.0555		
Total	47	181.143			

Tabla 5.*Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. ajustado	C.V
0,235	99,02%	98,56%	1,72%

R²: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

Según la tabla 5 los valores del coeficiente de determinación (R²) y el coeficiente de determinación ajustado (R²_{ajus}) obtenidos en este estudio son 99,02 % y 98,56 % respectivamente. Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2008) afirman que son muy deseables cuanto más próximo se encuentre a 100. Por lo tanto, en cuanto al R² se puede decir que el 99,02% de la variación observada en la altura de planta es explicada por el modelo, ya que la relación entre los factores de leguminosas de cobertura y HMA es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta, de manera que la calidad del ajuste en este estudio es satisfactorio. De acuerdo con Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, (2008) manifiestan que valores de R²_{ajus} superiores a 70 %, son óptimos para predecir el modelo.

La figura 11 muestra la interacción de las leguminosas de cobertura obtenida después de la inoculación con HMA en el indicador respuesta altura de plantas.

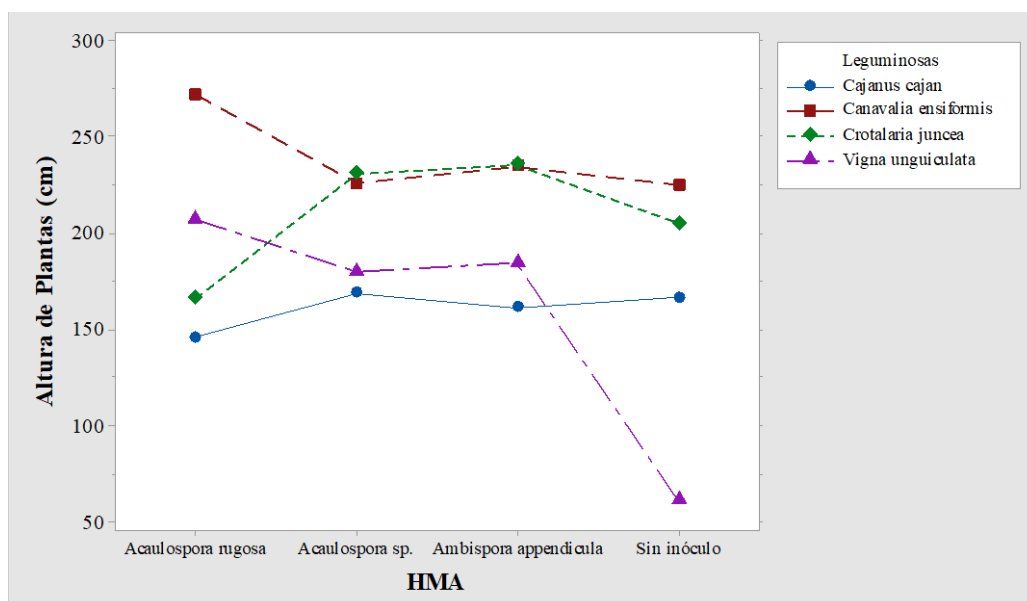


Figura 11. Efectos simples o interacción para altura de plantas de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Del gráfico podemos evidenciar los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde la interacción: Leguminosas y HMA (A x B), es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y los datos se cruzan, lo que nos quiere decir que el factor Leguminosa depende del factor HMA donde se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores.

Por lo tanto se realizó el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 12) correspondiente al índice morfológico según tratamientos.

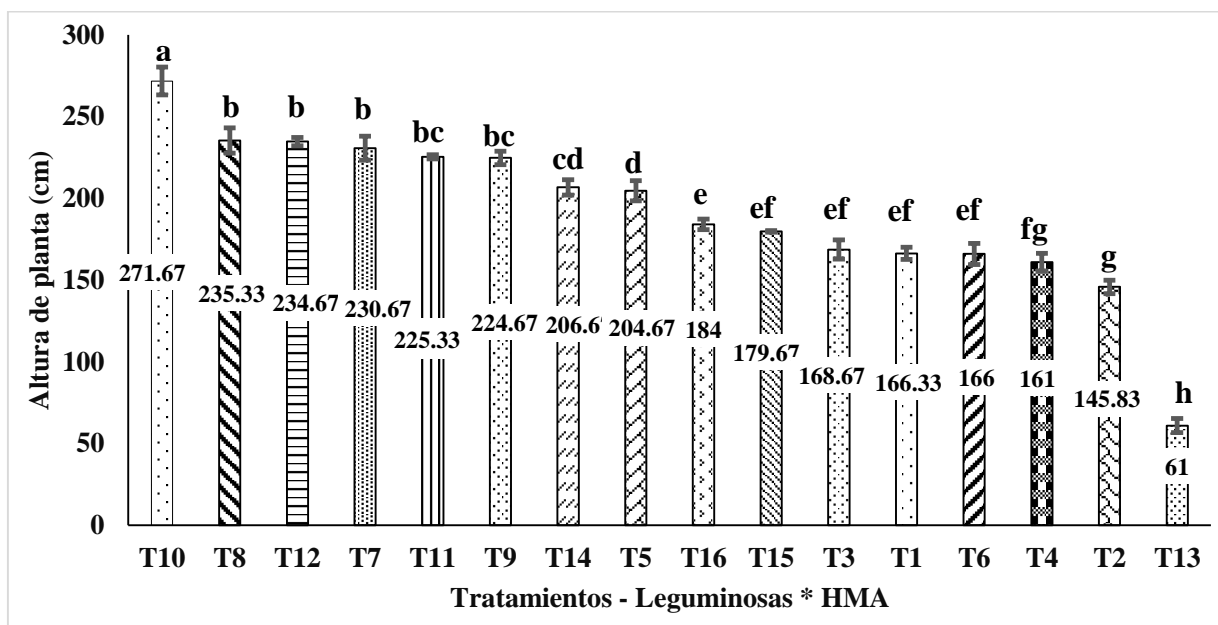


Figura 12. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para la altura (cm) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.

La interacción de los factores leguminosas de cobertura (A) y HMA (B), muestra que el T10 (*Canavalia ensiformis* inoculado con *Acaulospora rugosa*) presentó un mejor efecto en altura de planta (271,67 cm), seguido por los tratamientos el T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 235,33 cm, T12 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 234,67 cm y T7 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp) con 230,67 cm quienes son estadísticamente iguales. Asimismo siguieron el T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp) con 225,33 cm y T9 (*Canavalia ensiformis* sin inóculo) con 224,67 cm estadísticamente iguales.

El resultado más bajo con respecto a este indicador se obtuvo con los tratamientos T14 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 206,6 cm, T5 (*Crotalaria*

juncea sin inóculo) con 204,67cm ,T16(*Vigna unguiculata* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 184 cm, T15 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp)con 179,67 cm, T3(*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) con 168,67 cm, T1 (*Cajanus cajan* sin inóculo)con 166,33cm, T6(*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*)con 166 cm,T4 (*Cajanus cajan* inoculada con *Ambispora appendicula*)con 161 cm ,T2(*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 145,83 cm y el T13 (*Vigna unguiculata* sin inóculo)con 61 cm de altura de planta.

Del mismo modo que (Hernández-Martínez et al., 2006), en este trabajo las leguminosas de cobertura inoculadas con HMA, mostraron diferencia significativa con respecto a los tratamientos sin inocular,esto es explicado por Manjarrez-Martínez et al., (2000) señalan la importancia de asociación entre el genotipo de la planta y los inóculos para su efectividad, relacionado a diferentes grados de dependencia, influenciados además de las relación C:P en el suelo. Además que el efecto tardío del crecimiento de las demás leguminosas de cobertura puede deberse a la relación demandada entre el hongo y el hospedante. Alarcón & Cerrato (1999) manifestaron que la planta también pierde energía al concentrarse esta en la actividad fúngica, la cual compensa a través de la incorporación de fuentes de energía carbonatadas, para así suministrar la actividad meta metabólica del hongo. En tanto, durante el inicio de la colonización micorrízica, la planta hospedera se ve alterada su desarrollo, debido a que los hongos usan parte de los minerales misma (Sanders,1993).

Yaseen et al., (2011), en un estudio utilizando la variedad de *Vigna unguiculata* (China), los tratamientos inoculados con especies de *Glomus* mostraron los mejores valores en altura. Por otro lado Caldera et al., (2013), indica que el “frijol” (*Vigna unguiculata*) variedad Catatumbo, presenta una respuesta positiva a la inoculación con hongos micorrízicos, con un mayor crecimiento del cultivo al utilizar cepas nativas aisladas de las localidades donde tradicionalmente se siembra este cultivo, premisa que fue corroborada en la presente investigación ya que también se utilizaron especies nativas de la Región de San Martín.

3.1.2 Número de hojas

La tabla 6 muestra el análisis de varianza para el número de hojas de leguminosas de cobertura, donde indica que estadísticamente existen diferencias significativas , para las

leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de leguminosa de cobertura y hongo micorrízico arbuscular (AxB).

Tabla 6.

Análisis de varianza para el número de hojas en leguminosas de cobertura evaluados en condiciones de vivero.

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	86975.9	5798.4	466.98	0.000
Lineal	6	77329.7	12888.3	1037.98	0.000
Leguminosas	3	74664.8	24888.3	2004.42	0.000
HMA	3	2664.9	888.3	71.54	0.000
Interacciones de 2 términos	9	9646.3	1071.8	86.32	0.000
Leguminosas*HMA	9	9646.3	1071.8	86.32	0.000
Error	32	397.3	12.4		
Total	47	87373.3			

En la tabla 7 se puede observar un (C.V.) de 4,18 % y un (R²) de 99,55%, resultados que se encuentran dentro la dispersión aceptable del rango para trabajos realizados en vivero según (Calzada Benza, 1964).

Tabla 7.

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	C.V
3.52373	99.55%	99.33%	4,18%

R²: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor del coeficiente de determinación (R²) obtenido en este estudio es de 99,55 %, por lo tanto, el 99,55%, de la variación observada en el número de hojas de leguminosas de cobertura es explicada por el modelo, ya que la relación entre los factores de leguminosas y hongos micorrízicos arbusculares es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de número de hojas. Además, según la Tabla 7, el R²_{ajus} resultó ser de 99,33 %, indicando que el modelo si es adecuado para predecir número de hojas.

La figura 13 muestra los efectos principales para número de hojas de las leguminosas de cobertura obtenido después de la inoculación con HMA.

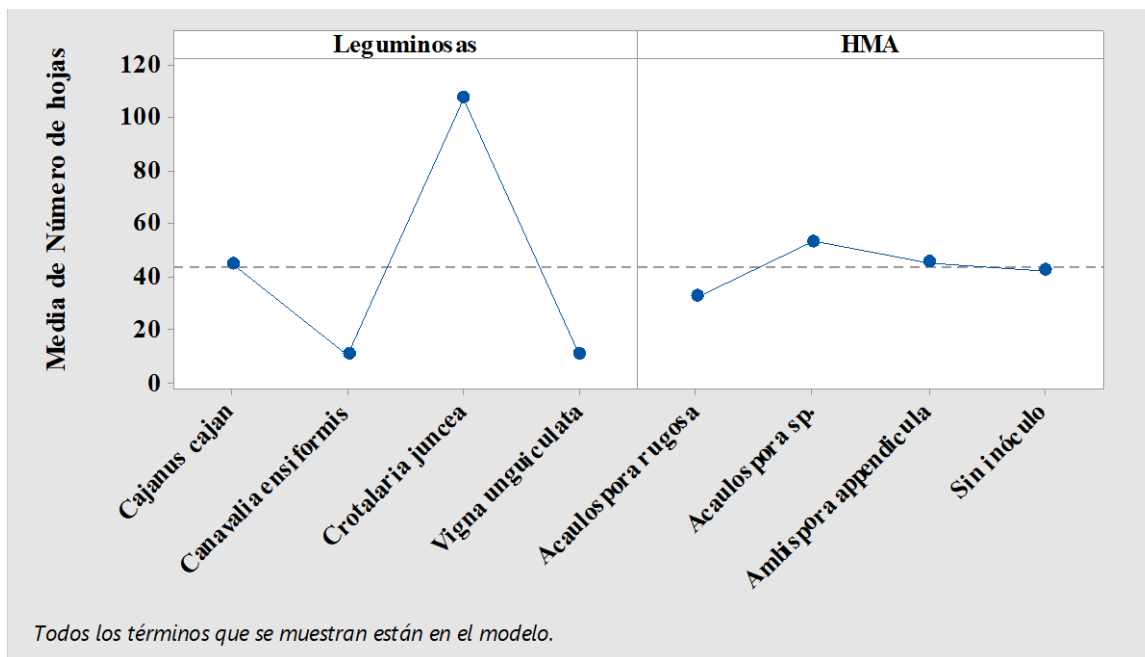


Figura 13. Efectos principales para número de hojas, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab.

El gráfico expresa los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde los efectos principales Leguminosas (A) y HMA (B), es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia, y resalta a la leguminosa *Crotalaria juncea* como la mejor leguminosa con mayor número de hojas, y la especie de HMA *Acaulospora* sp. Como el que responde mejor a este indicador respuesta, sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto en el gráfico 14 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

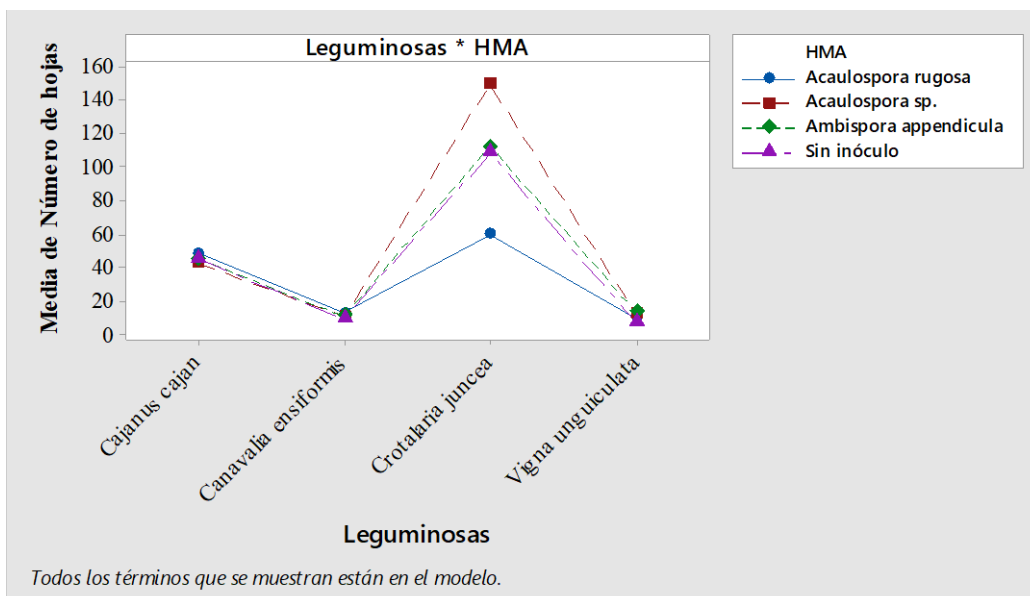


Figura 14. Efectos simples o interacción para número de hojas de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab.

El efecto simple o interacción: Leguminosas y HMA (A x B), es significativo. Por lo tanto, factor leguminoso de cobertura depende del factor HMA y se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores. Por ello se realizó el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 15) correspondiente al número de hojas según tratamientos.

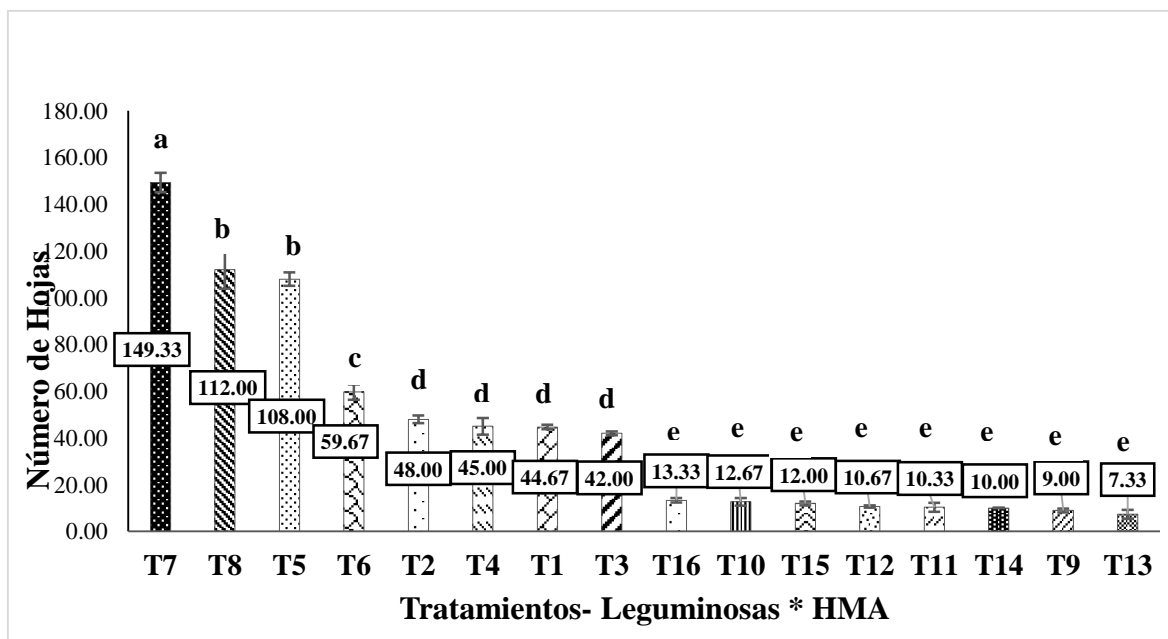


Figura 15. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para número de hojas de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.

El análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 15) correspondiente al índice morfológico, número de hojas de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA. Muestra que el mejor tratamiento es el T7 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp) es la que tiene mayor compatibilidad funcional y se ve refejada en el desarrollo de la planta logrando una media de 149,33 número de hojas. Seguido de los tratamientos T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 112 hojas y T5 (*Crotalaria juncea* sin inóculo) con 108 hojas quienes son estadísticamente iguales, seguido del T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 59,67 hojas y los tratamientos T2 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 48 hojas, T4 (*Cajanus cajan* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 45 hojas, T1 (*Cajanus cajan* sin inóculo) con 44,67 y T3 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) con 42 hojas.

Los tratamientos que obtuvieron menor número de hojas son los tratamientos T16 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Ambispora appendicula*), T10 (*Canavalia ensiformis* inoculado con *Acaulospora rugosa*), T15 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp), T12 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Ambispora appendicula*), T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp), T14 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa*), T9 (*Canavalia ensiformis* sin inóculo) y el T13 (*Vigna unguiculata* sin inóculo) siendo estadísticamente iguales entre ellos.

Los resultados muestran que la leguminosa *Crotalaria juncea* mostró diferencia significativa con respecto al testigo, tuvo mayor respuesta al ser inoculado con *Acaulospora* sp. Alonso-Contreras et al., (2013), muestra que en el número de hojas de la planta *Capsicum annuum* L. las micorrizas tampoco encontró efectos significativos. Se asume que esto sucede debido a que los HMA pueden ser infectivas, pero no lo suficiente para ofrecer un alto grado de compatibilidad y efectividad con la planta (Caldera et al., 2013).

3.1.3 Biomasa fresca aérea

La tabla 8 muestra los análisis de varianza para la biomasa fresca aérea (g) de leguminosas de cobertura. Estos resultados indican que estadísticamente existen diferencias significativas, para las leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los

efectos principales, así como en la interacción de Leguminosa y Hongo Micorrízico Arbuscular (AxB).

Tabla 8.

Análisis de varianza para la biomasa fresca aérea (g) evaluados en condiciones de vivero

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	12946.4	863.10	16.58	0.000
Lineal	6	9207.4	1534.56	29.48	0.000
Leguminosas	3	8699.9	2899.98	55.72	0.000
HMA	3	507.4	169.14	3.25	0.035
Interacciones de 2 términos	9	3739.1	415.45	7.98	0.000
Leguminosas*HMA	9	3739.1	415.45	7.98	0.000
Error	32	1665.6	52.05		
Total	47	14612.0			

En la tabla 9 se aprecia un Coeficiente de Variabilidad (C.V) de 6,19 % y un Coeficiente de Determinación (R²) de 88,60%, resultados que se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964).

Tabla 9.

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	C.V
7.21459	88.60%	83.26%	6,19 %

R²: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor de R² obtenido en este estudio es de 88,60 %, por lo tanto, se puede decir que el 88,60 % de la variación observada en la biomasa fresca aérea de leguminosas de cobertura es explicada por el modelo, resultados que se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964). Esto muestra la relación entre los factores de Leguminosas y Hongos micorrízicos arbusculares es descrita

adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de biomasa fresca aérea. Además, según la tabla 9, el coeficiente de determinación ajustado resultó ser de 83,26 %, indicando que el modelo si es adecuado para predecir biomasa fresca aérea.

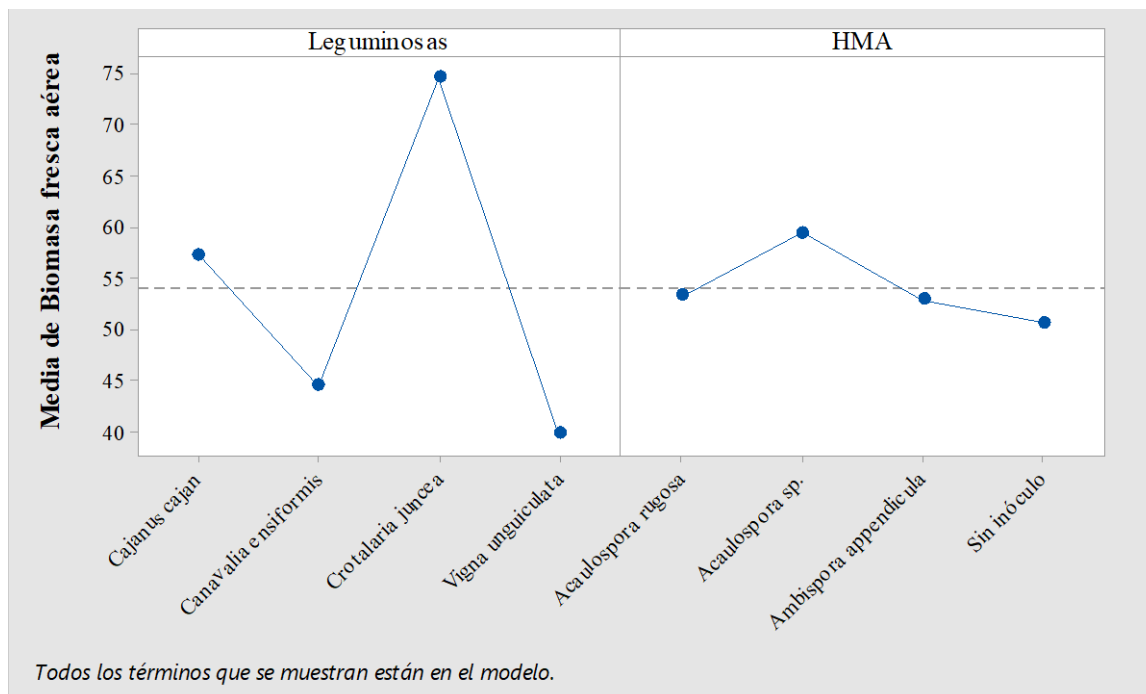


Figura 16. Efectos principales para biomasa fresca aérea, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Los efectos principales leguminosas de cobertura (A) y HMA (B) frente al indicador respuesta biomasa fresca aérea (Figura 16), es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia, y resalta a la leguminosa *Crotalaria juncea* como la mejor leguminosa con mayor biomasa fresca aérea, y la especie de HMA *Acaulospora* sp. Como el que responde mejor a este indicador respuesta, sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto, en la figura 17 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

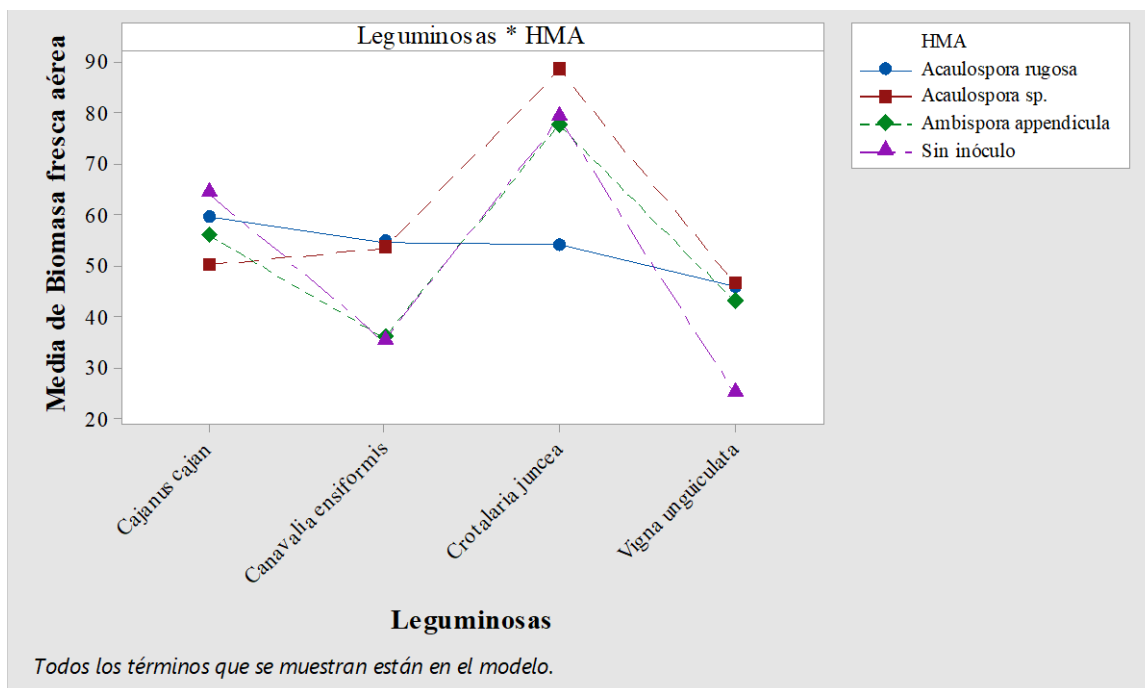


Figura 17. Efectos simples o interacción para biomasa fresca aérea de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

El análisis de varianza respecto a biomasa fresca el efecto simple o interacción: leguminosas de cobertura y HMA (A x B) es significativo (Figura 17), es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y existe un punto en el que los datos se cruzan, lo que nos quiere decir que el factor leguminoso depende del factor HMA y se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores.

Por lo tanto, se realizó el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 18) correspondiente a biomasa fresca aérea según tratamientos.

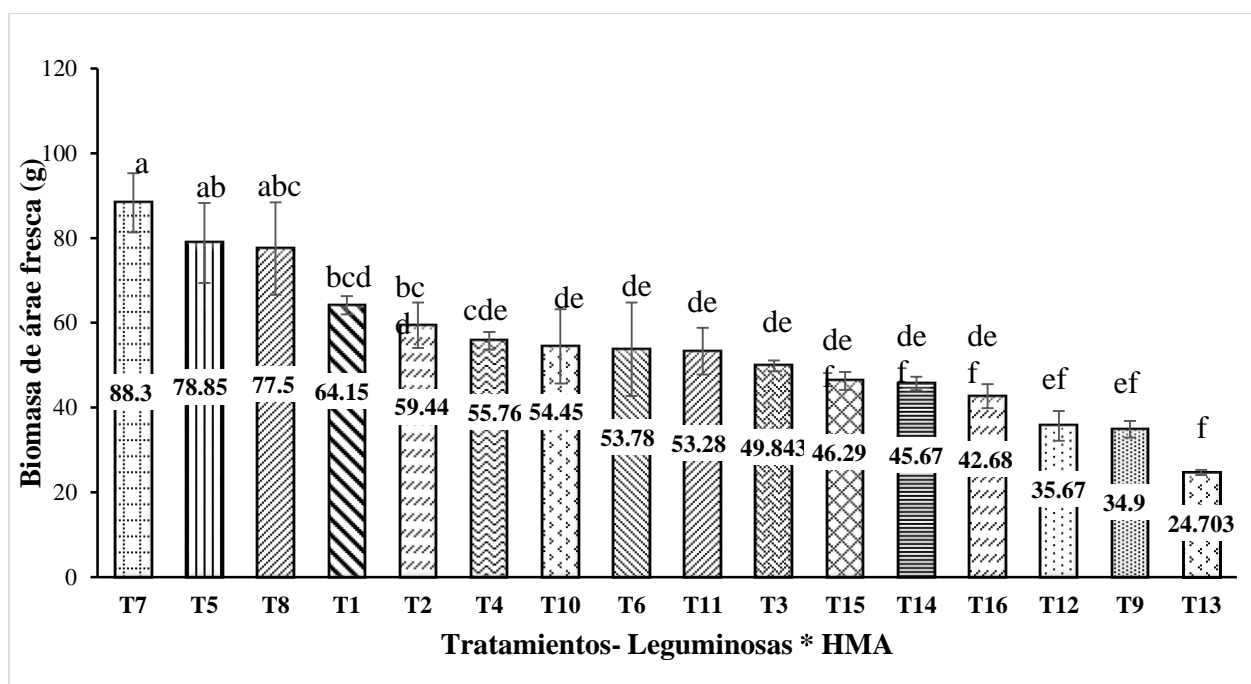


Figura 18. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) biomasa fresca parte aérea (gramos) de leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.

El análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 18) correspondiente al índice morfológico, biomasa fresca parte aérea de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA. Muestra que el mejor tratamiento con compatibilidad funcional respecto a la biomasa fresca parte aérea es el T7 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp) con 88,3 gramos, seguido de los tratamientos T5 (*Crotalaria juncea* sin inóculo) con 78,85 g y T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 77,5 g quienes son estadísticamente iguales, seguido por los tratamientos T1 (*Cajanus cajan* sin inóculo) con 64,15 g y T2 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 59,44 g.

Asimismo, los tratamientos T10 (*Canavalia ensiformis* inoculado con *Acaulospora rugosa*), T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*), T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp) y T3 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) son estadísticamente iguales y numéricamente diferentes obteniendo 54,45 g; 53,78 g, 53,28 g y 49,8g respectivamente.

El tratamiento que tiene menor biomasa fresca aérea es el T13 (*Vigna unguiculata* sin inóculo) con 24, 7 gramos.

A diferencia de este trabajo, estudios realizados por García Rubido et al., (2017) en *Canavalia*, muestran que, entre las cepas evaluadas, se destacó *Glomus cubense* con mayor

producción de masa fresca, obteniéndose los mejores resultados con diferencias significativas al resto de las cepas estudiadas y el testigo.

3.1.4 Biomasa seca aérea

La tabla 10 muestra el análisis de varianza para la biomasa seca aérea (g) en leguminosas de cobertura evaluado en condiciones de vivero. Estos resultados indican que estadísticamente existen diferencias significativas, para las leguminosas de cobertura (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de Leguminosa y Hongo Micorrízico Arbuscular (AxB).

Tabla 10.

Análisis de varianza para la biomasa seca aérea (g) en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	2275.10	151.673	136.21	0.000
Lineal	6	2131.22	355.203	318.98	0.000
Leguminosas	3	2109.42	703.142	631.43	0.000
HMA	3	21.79	7.264	6.52	0.001
Interacciones de 2 términos	9	143.88	15.987	14.36	0.000
Leguminosas*HMA	9	143.88	15.987	14.36	0.000
Error	32	35.63	1.114		
Total	47	2310.73			

En la tabla 11 se presenta un (C.V) de 3,29% y un (R²) de 98,46%, resultados que según Calzada Benza, (1964) se encuentran dentro de la dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero.

Tabla 11.*Resumen del modelo*

S	R-cuad.		C.V
	R-cuad.	(ajustado)	
1.05526	98.46%	97.74%	3,29%

R2: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor de R2 obtenido en este estudio es de 98,46 %, por lo tanto, se puede decir que el 98,46 % de la variación observada en la biomasa seca aérea de leguminosas de cobertura es explicada por el modelo, resultado aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964). Esto muestra la relación entre los factores de Leguminosas y Hongos micorrízicos arbusculares es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de biomasa seca aérea. Además, según la Tabla 11, el R^2_{ajus} resultó ser de 97,74 %, indicando que el modelo si es adecuado para predecir la biomasa seca de las leguminosas.

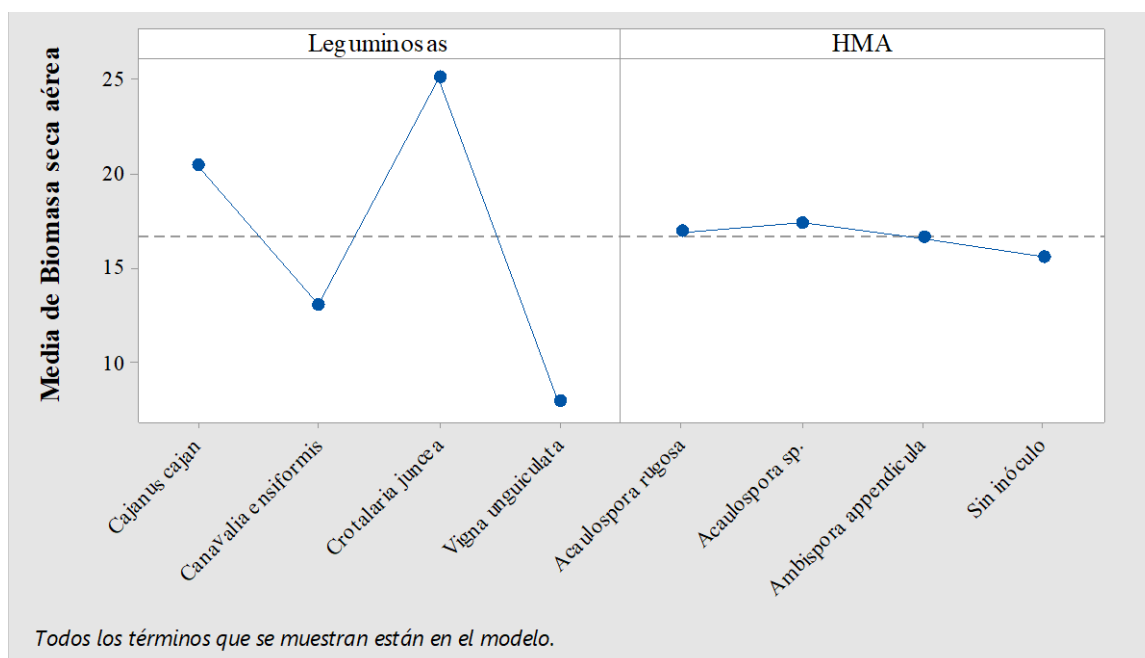


Figura 19. Efectos principales para biomasa seca aérea, de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Los efectos principales leguminosas de cobertura (A) y HMA (B) frente al indicador respuesta biomasa seca aérea, es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia, y resalta a la leguminosa *Crotalaria juncea* como la mejor leguminosa con mayor biomasa fresca aérea, y la especie de HMA *Acaulospora* sp. Como el que responde mejor a este indicador respuesta, sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto, en la figura 20 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

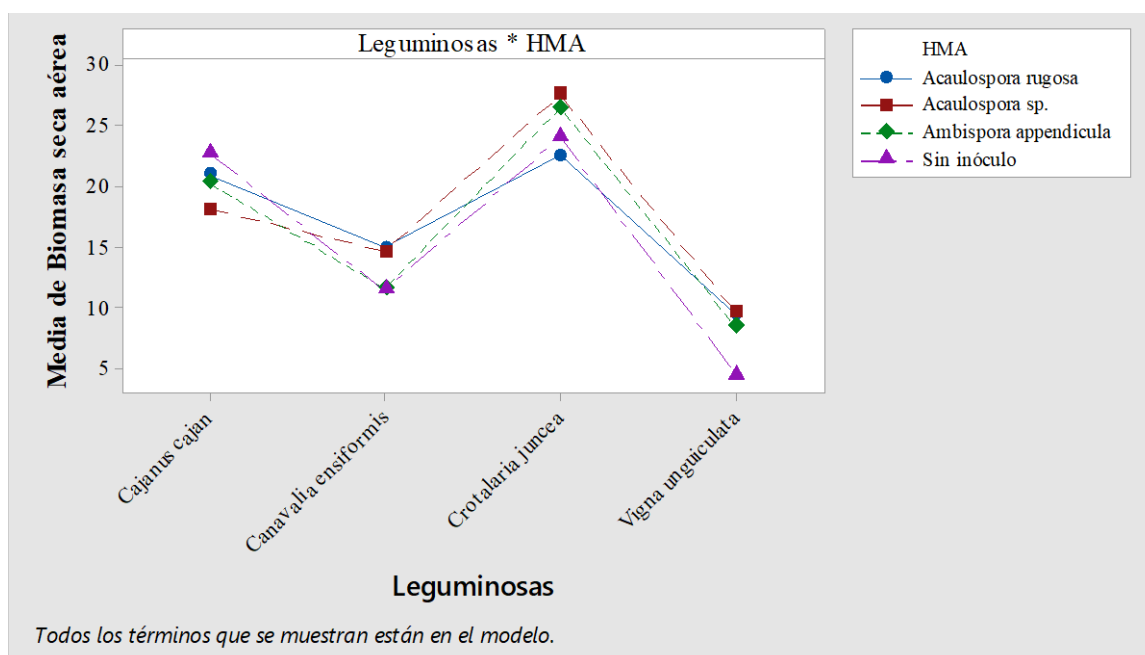


Figura 20. Efectos simples o interacción para biomasa seca aérea de las leguminosas de cobertura y los hongos micorrízicos arbusculares. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

El efecto simple o interacción: Leguminosas y HMA (A x B) respecto al indicador respuesta biomasa seca aérea, es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y los datos se cruzan, el factor leguminoso depende del factor HMA y se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores.

Por lo tanto, se realizó el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 21) correspondiente al índice morfológico según tratamientos.

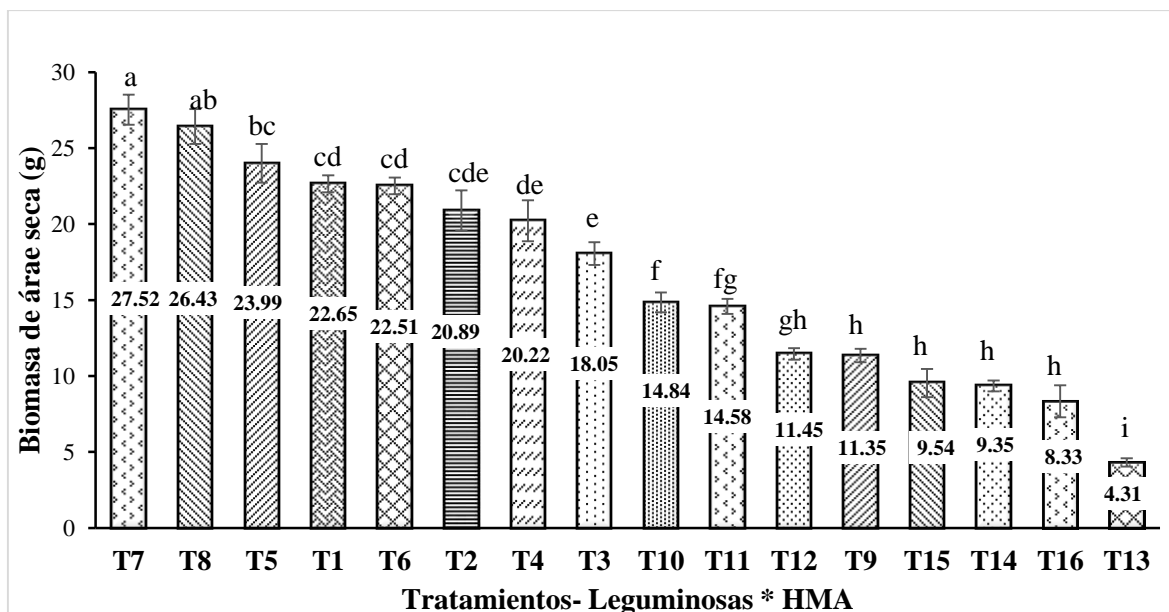


Figura 21. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) biomasa seca parte aérea (gramos) de leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.

El análisis Tukey ($p < 0,05$) (Figura 21) correspondiente al índice morfológico biomasa seca (g) de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA. Se observa que el tratamiento que tuvo mejor compatibilidad funcional, mostrándose a través de mayor biomasa seca es el T7 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp) con 27,52 g, seguido del T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 26,43 g, el T5 (*Crotalaria juncea* sin inóculo) con 23,99 g, los tratamientos T1 (*Cajanus cajan* sin inóculo) y T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*) siendo estos estadísticamente iguales. Seguidamente se encuentra el T2 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 20,89 g, T4 (*Cajanus cajan* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 20,22 g y T3 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) con 18,05 g.

El tratamiento con menor respuesta de compatibilidad funcional expresado en biomasa seca aérea es el T13 (*Vigna unguiculata* sin inóculo) se obtuvo 4,31 g.

García Rubido et al., (2017) al estudiar la interacción de HMA con *Canavalia*, encontraron que los tratamientos inoculados fueron superiores en biomasa seca que los tratamientos sin inocular. En ambas leguminosas se pudo observar que tuvieron mayor peso los tratamientos inoculados con *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp. y se mostraron superiores a las leguminosas sin inóculos, de igual manera, Martín et al., (2010) encontraron que *Canavalia* al ser inoculada con *Glomus cubense*, obtuvieron mayores incrementos de masa seca de 23,83 g respecto al testigo sin inoculación 18,00 g, y también Burity et al., (2000), en la

leguminosa Mimosa inoculadas con las cepas *Glomus etunicatum*, *Acaulospora morrowae* y *A. longula*, obtuvieron mayores valores en biomasa seca 7,52 g y en los tratamientos sin inocular 1,03 g.

3.2 Indicadores de desarrollo biológico del HMA

3.2.1 Colonización micorrízica

La tabla 12 muestra los resultados del análisis de varianza, los cuales indican que existen diferencias significativas, para las leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de Leguminosa y Hongo Micorrízico Arbuscular (AxB).

Tabla 12

Análisis de varianza para la colonización micorrízica (%) en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	23117	1541.2	13.98	0.000
Lineal	6	19603	3267.1	29.65	0.000
Leguminosas	3	1394	464.5	4.22	0.013
HMA	3	18209	6069.7	55.08	0.000
Interacciones de 2 términos	9	3515	390.5	3.54	0.004
Leguminosas*HMA	9	3515	390.5	3.54	0.004
Error	32	3526	110.2		
Total	47	26644			

La tabla 13 indica que el coeficiente de variabilidad es de 17,60% y el coeficiente de determinación es de 86,76%, por lo que encuentran dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada Benza (1964).

Tabla 13*Resumen del modelo*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	C.V
10.4978	86.76%	80.56%	17,60%

R2: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor de R2 obtenido en este estudio es de 86,76 %, por lo tanto, se puede decir que el 86,76% de la variación observada en la colonización micorrízica es explicada por el modelo, resultados que se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964). Esto muestra la relación entre los factores de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de colonización micorrízica. Además, según la Tabla 13, el R^2_{ajus} resultó ser de 80,56 %, indicando que el modelo si es adecuado para predecir la colonización micorrízica en las leguminosas.

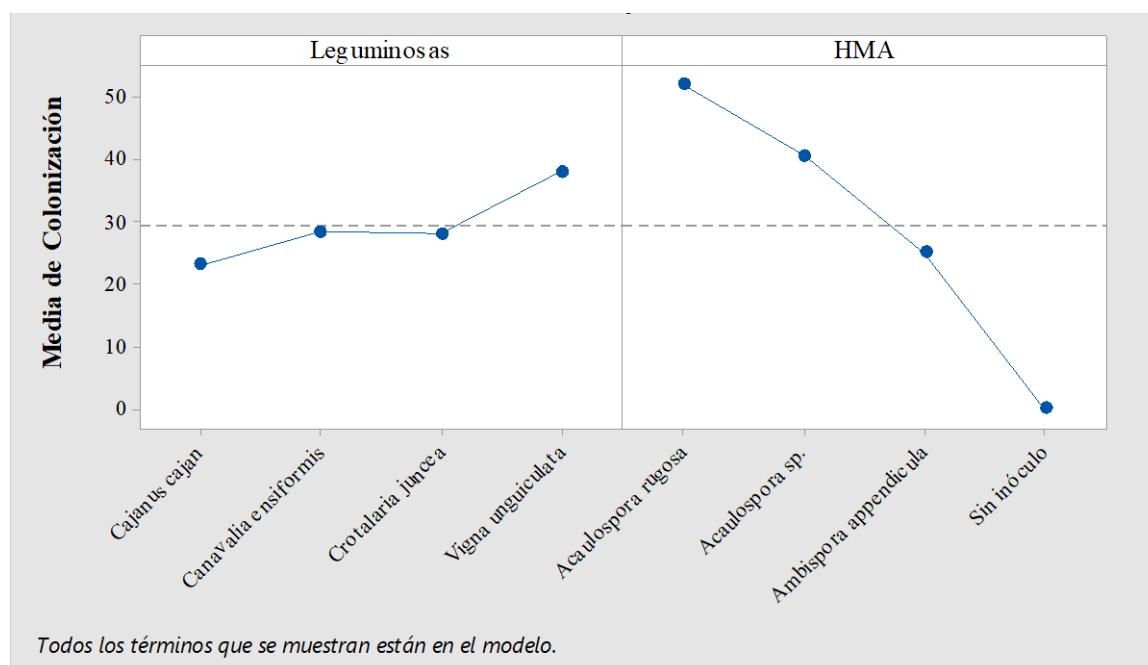


Figura 22. Efectos principales para colonización micorrízica. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Los efectos principales leguminosas de cobertura (A) y HMA (B) frente al indicador respuesta colonización micorrízica es significativo, es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia, y resalta a la leguminosa *Vigna unguiculata* como la mejor leguminosa con mayor porcentaje de colonización micorrízica, y la especie de HMA *Acaulospora rugosa* como el mejor hongo colonizador. Sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto en la figura 23 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

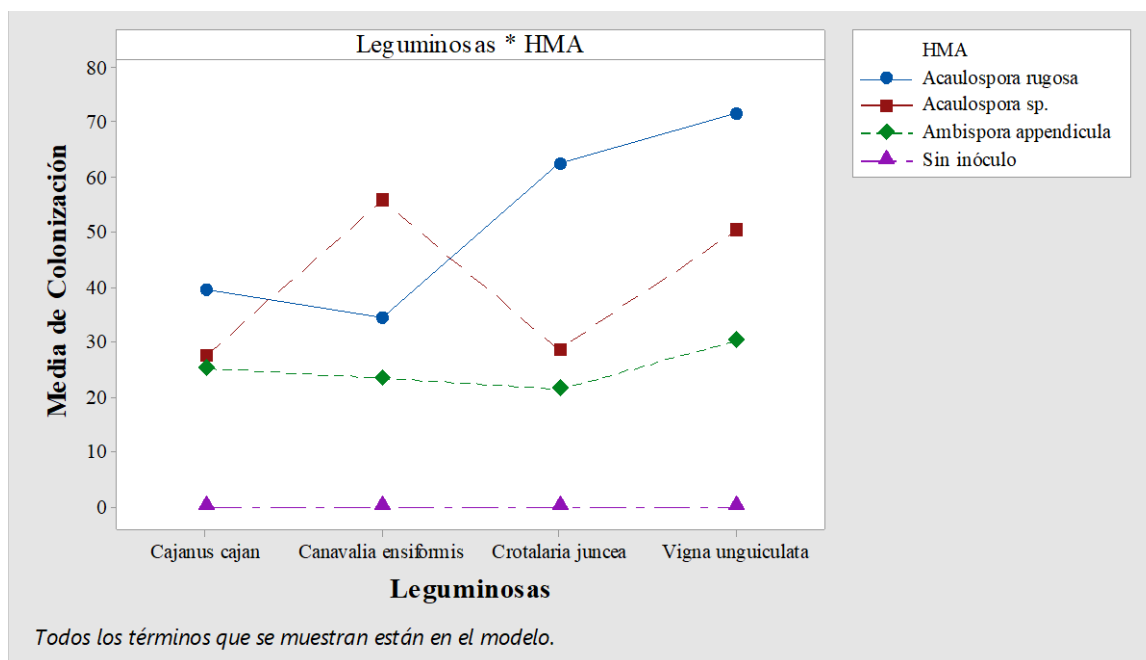


Figura 23. Efectos simples o interacción para la colonización micorrízica. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

La interacción leguminosa de cobertura y HMA (A x B) respecto a la colonización micorrízica (figura 23), es significativo los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y los datos se cruzan. Esto muestra la dependencia del factor leguminosa de cobertura y del factor HMA por lo tanto se debe recomendar al tratamiento que muestre mejor resultado

Por ello se realizó el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 24) correspondiente al índice biológico según tratamientos

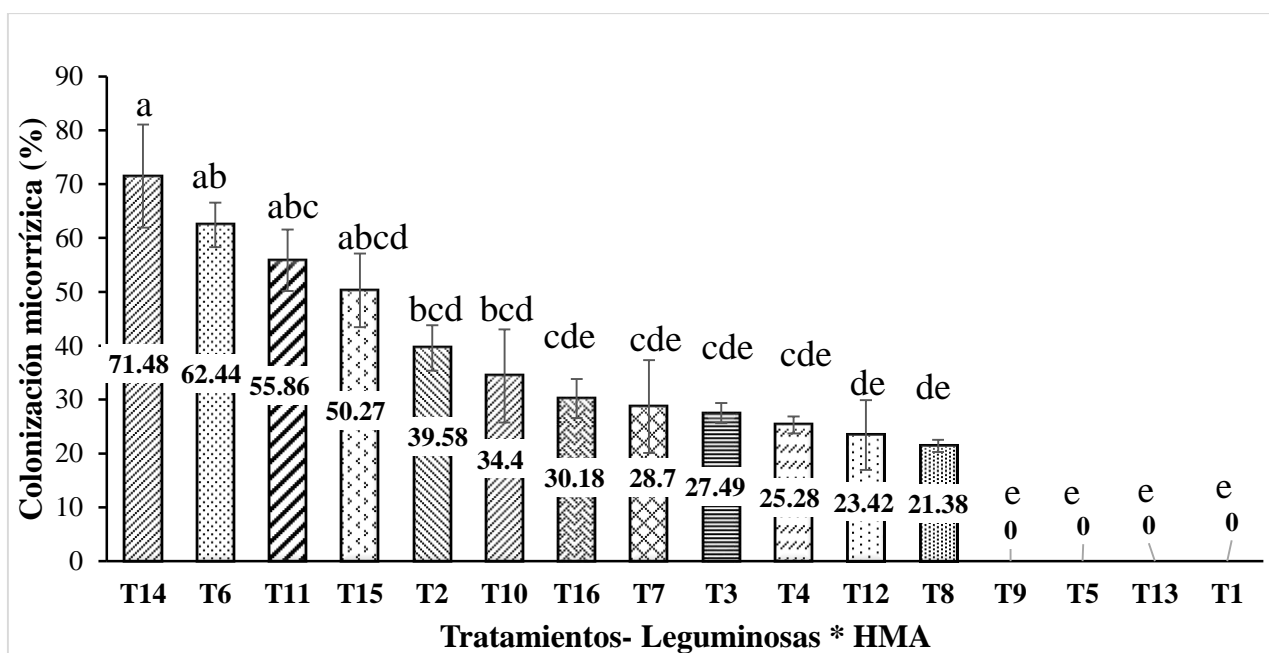


Figura 24. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para colonización micorrízica (%) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.

El análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 24) correspondiente al índice biológico, colonización micorrízica de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA. Muestra que el T14 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa*) es el tratamiento que logró mayor compatibilidad funcional y se reflejó en el alto porcentaje de colonización 71,48 % logrado por este hongo, seguido del T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con un 62,44% de colonización micorrízica, el T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp) con un 55,86 %, T15 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp) con un 50,27 %, seguido de los tratamientos T2(*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 39,58% de colonización micorrízica y T10 (*Canavalia ensiformis* inoculado con *Acaulospora rugosa*) con 34,4% , estos tratamientos son numéricamente diferentes pero estadísticamente iguales. Asimismo los tratamientos T16,T7,T3,T4 obtuvieron 30,18%, 28,7%,27,49 % y 25,28% de colonización micorrízica respectivamente ,cabe mencionar que estos tratamientos son estadísticamente iguales, sin embargo muestran el mas bajo porcentaje de colonización micorrízica.Finalmente, los tratamientos testigos T1, T5, T9 y T13, no obtuvieron colonización micorrízica, mostrando que los tratamientos testigos no fueron contaminados.

Barea (1991) menciona que el nivel de colonización de distintos hongos es diferente en un mismo hospedero, se puede inferir que existe un cierto grado de especificidad en la

simbiosis, lo que lleva al concepto de compatibilidad. Las leguminosas presentan una respuesta positiva a la inoculación, en cuanto al porcentaje de colonización.

De manera similar a este trabajo de investigación Caldera et al. (2013) menciona que en el fríjol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) reflejó una respuesta significativa a la inoculación con cultivos de hongos micorrízicos, con valores cercano al 85% de colonización.

Además, otros autores como Caldera et al. (2013); García Rubido et al., (2017); González et al., (2015) y Rivera Espinosa et al., (2007), encontraron que las leguminosas *Crotalaria juncea* y *Vigna unguiculata* inoculadas con las especie de hongo *Acaulospora rugosa*, mostraron la mejor colonización, con valores superiores al 60%, que es un buen indicativo de funcionamiento micorrízico.

Barrios López, (2017) menciona que *Cajanus cajan* alcanzo la menor colonización siendo un 52,68 %, en comparación a *Crotalaria juncea* y *Canavalia ensiformis*, mientras que *Vigna unguiculata* marco una colonización de 75%, siendo este último superior y significativo en comparación a los demás valores.

En la figura 25 muestro las observaciones más resaltantes por cada interacción de hongo micorrízico arbuscular con leguminosa de cobertura, donde se observó presencia de hifas intraradicales, esporas y vesículas.No se observaron presencia de arbusculos en las interacciones trabajadas.

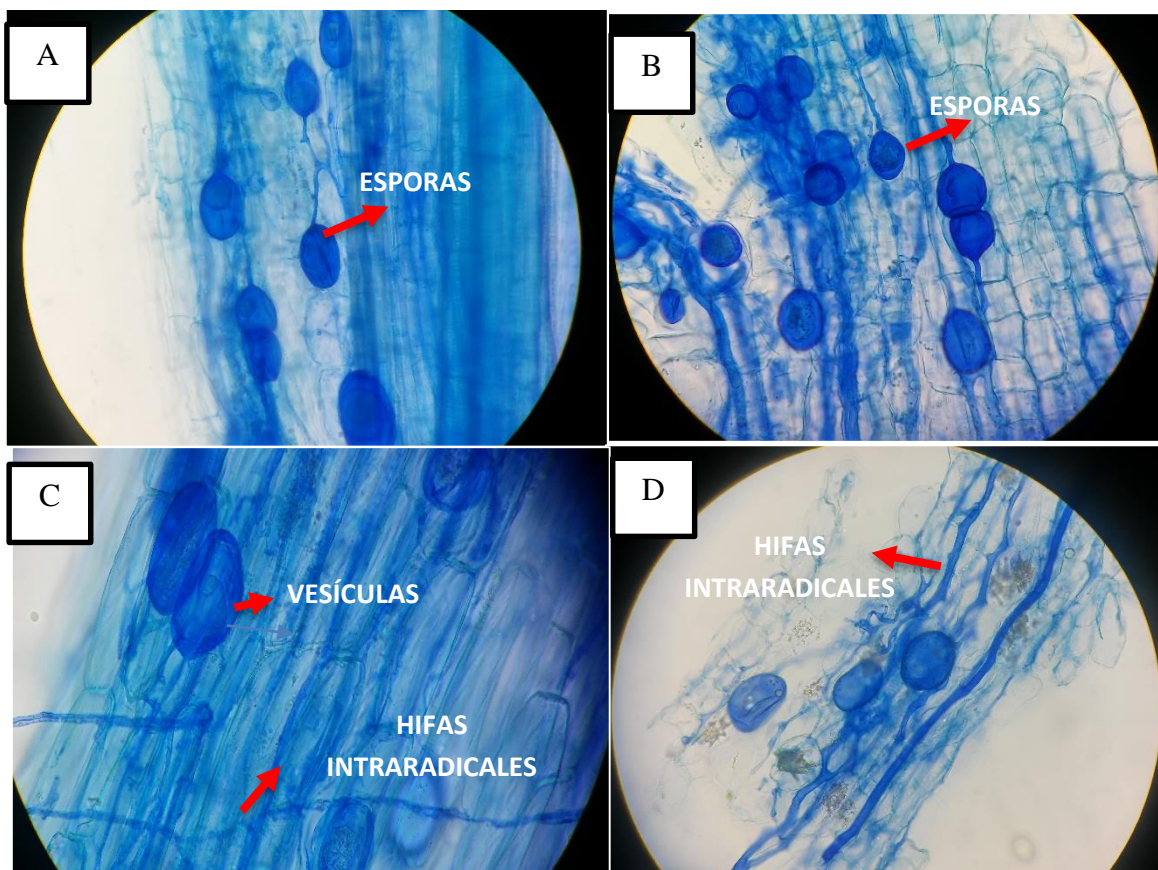


Figura 25. Observaciones de colonización micorrízica en leguminosas de cobertura. A) Colonización micorrízica de *Acaulospora rugosa* en *Vigna unguiculata* con presencia de esporas B) Colonización micorrízica de *Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa* C) Colonización micorrízica de *Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp D) Colonización micorrízica de *Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp.

3.2.2 Número de esporas

La tabla 14 muestra el análisis de varianza para el número de esporas en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero, donde indican que existen diferencias significativas para las leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de leguminosa y HMA (AxB).

Tabla 14

Análisis de varianza para el número de esporas en leguminosas de cobertura, evaluados en condiciones de vivero.

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	1526036	101736	348.48	0.000
Lineal	6	1308528	218088	747.04	0.000
Leguminosas	3	81824	27275	93.43	0.000
HMA	3	1226704	408901	1400.65	0.000
Interacciones de 2 términos	9	217508	24168	82.78	0.000
Leguminosas*HMA	9	217508	24168	82.78	0.000
Error	32	9342	292		
Total	47	1535378			

La tabla 15 presenta un coeficiente de variabilidad (C.V) de 5,76% y un coeficiente de determinación (R^2) de 99,39%, estos valores se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964).

Tabla 15

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	C.V
17.0862	99.39%	99.11%	5,76 %

R2: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor de R2 obtenido en este estudio es de 99,39 %, por lo tanto, se puede decir que el 99,39 % de la variación observada en el número de esporas es explicada por el modelo, resultados que se encuentran aceptable para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964)..Esto muestra la relación entre los factores de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de número de esporas .Además, según la Tabla 15, el coeficiente de determinación ajustado resultó ser de 99,11%, indicando que el modelo si es adecuado para predecir el número de esporas.

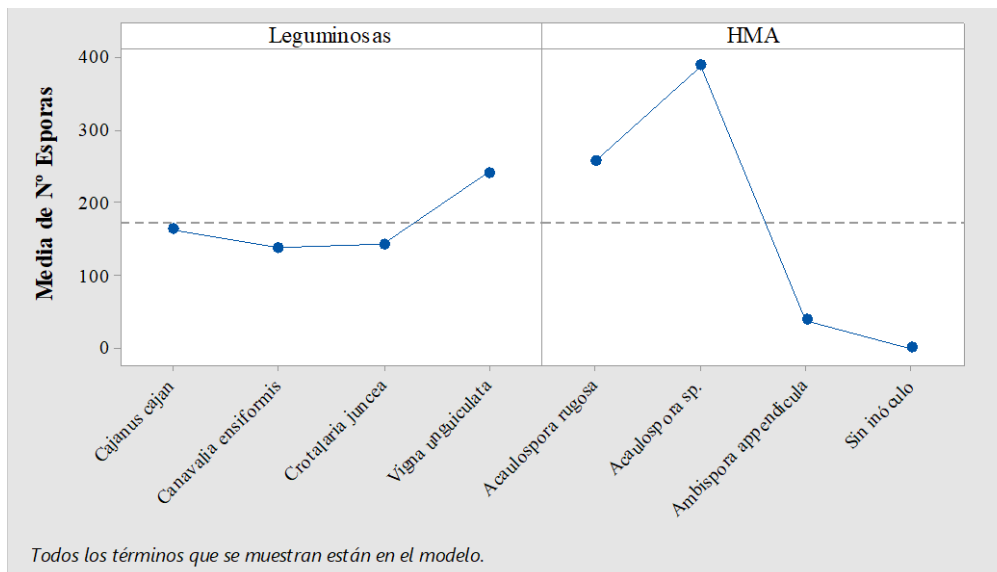


Figura 26. Efectos principales para número de esporas. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Los efectos principales leguminosas de cobertura (A) y HMA (B) frente al indicador respuesta número de esporas es significativo (figura 26), es decir los niveles de estos factores no siguen la similar tendencia, y resalta a la leguminosa *Vigna unguiculata* como la mejor leguminosa con mayor número de esporas, y la especie de HMA *Acaulospora* sp. Sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto, en la figura 27 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

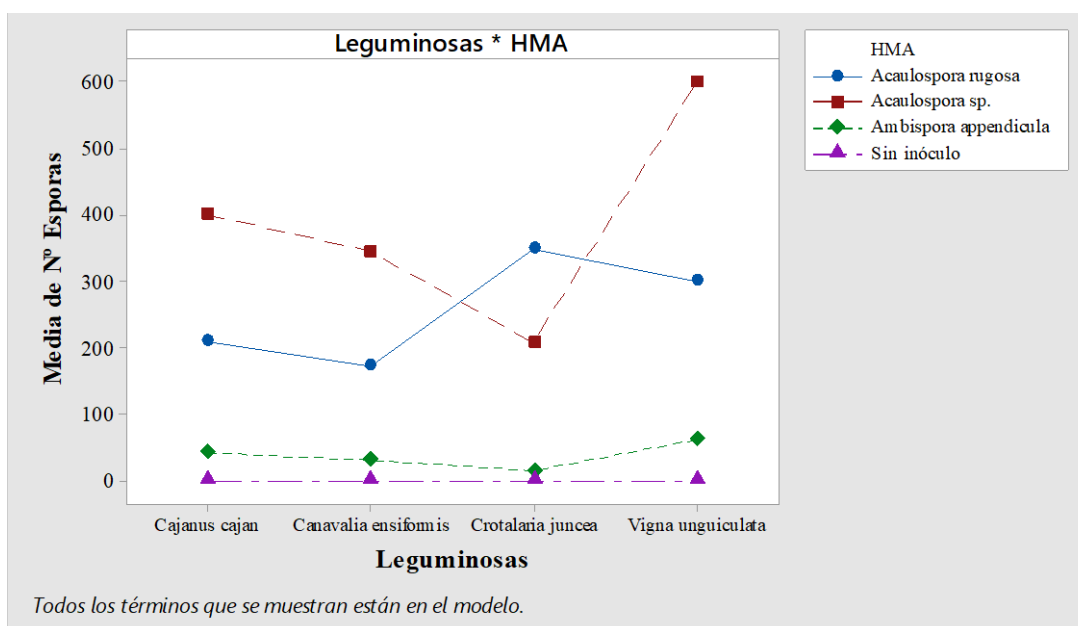


Figura 27. Efectos simples o interacción para número de esporas. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

El efecto simple o interacción: Leguminosas y HMA (A x B) para el número de esporas, es significativo (figura 27), es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y los datos se cruzan, esto quiere decir que el factor Leguminosa depende del factor HMA y se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores.

Por lo tanto, se realizó el análisis de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 28) correspondiente al índice biológico según tratamientos.

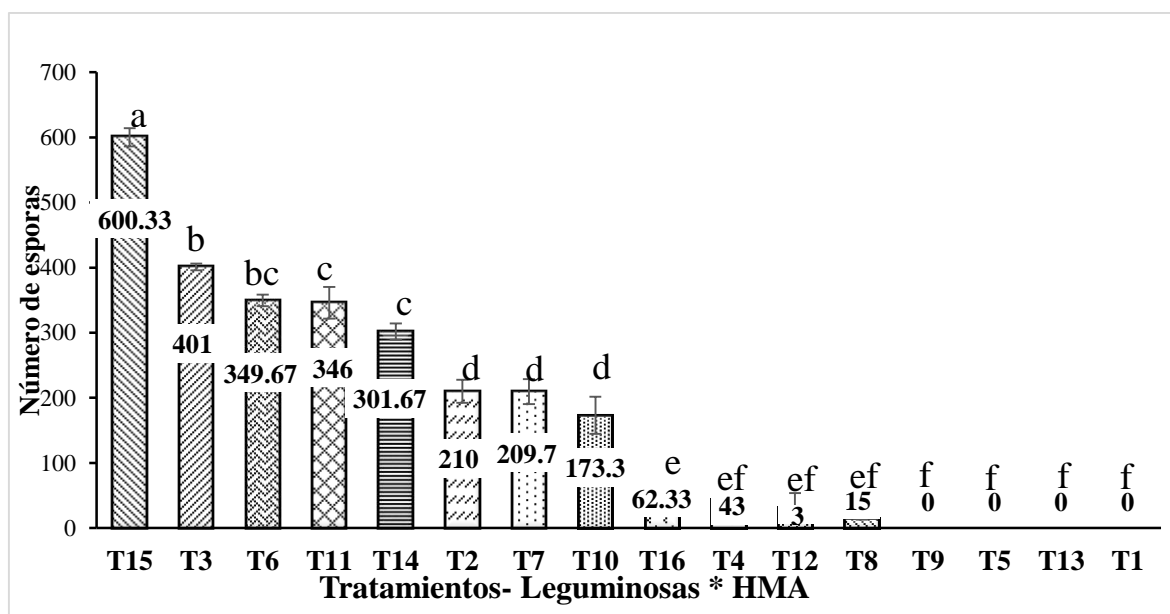


Figura 28. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para número de esporas (unidad) de leguminosas de cobertura. Evaluados en condiciones de vivero.

El análisis de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 28) correspondiente al índice Biológico, número de esporas en 10 gramos de suelo, de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA. Muestra que existió compatibilidad funcional expresado en la cantidad de número de esporas después de la inoculación inicial, siendo el T15 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp) con 600 esporas, el T3 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) con 401 esporas, el T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 349 esporas, seguido por los tratamientos T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp), y T14 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa*) 346 y 301 esporas respectivamente, dichos tratamientos son estadísticamente iguales. Asimismo los tratamientos T2, T7 y T10 estadísticamente iguales con 210, 209 y 173 esporas respectivamente. El T16 con 62 esporas.

Los tratamientos con menor número de esporas fueron los tratamientos T4 (*Cajanus cajan* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 43 esporas, T12 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 3 esporas, y T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 15 esporas, estos son iguales estadísticamente, pero diferentes numéricamente. Finalmente los tratamientos testigos T9, T5, T13 y T1 no mostraron número de esporas lo que da mayor validez al trabajo puesto que no se inocularon inicialmente y estos resultados refleja que no se contaminaron a los testigos.

Los resultados muestran que en las leguminosas *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis* y *Vigna unguiculata*, la especie *Acaulospora* sp, tuvo mayor población, y *Acaulospora rugosa* fue la segunda especie con mayor población en estas leguminosas. En *Crotalaria juncea*, la especie *Acaulospora rugosa*, mostró la mayor población y *Acaulospora* sp. fue la segunda en mayor población, esto nos indica que todas las leguminosas son micrótrofes porque aumentaron el potencial de inóculo al igual que Martín et al., (2010), mencionan que algunas especies de leguminosas aumentan el contenido potencial de inóculo. En todas las leguminosas se observó que las especies *Acaulospora* sp. y *A. rugosa*, superaron en cuanto al potencial de población de esporas, que a los estudiados por García Rubido et al. (2017), que indica que en la especie de *Canavalia* los valores de 420 esporas en 50 g en el corte a los 60 días es potencial, también por Martín et al., (2010) que muestra el número de esporas de la cepa *Glomus cubense* en simbiosis con *Canavalia* es potencial con valores de 232 esporas en 50 gramos de suelo. Siendo nuestros resultados con las dos especies de HMA, superiores a estas investigaciones en cuanto a número de esporas García Rubido et al., (2017) y Esmoris et al., (2011), destacan que la multiplicación de las esporas es consecuencia no solo de la asociación micorrízica de estos cultivos, sino también del crecimiento de las plantas. Concordando con esta investigación que indica que las especies *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp., lograron mayor crecimiento en las leguminosas.

En la figura 29, se muestra las observaciones obtenidas de las esporas a través del estereoscopio binocular, siendo la especie *Ambispora appendicula* de color amarillo intenso y más grandes que las especies *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp.

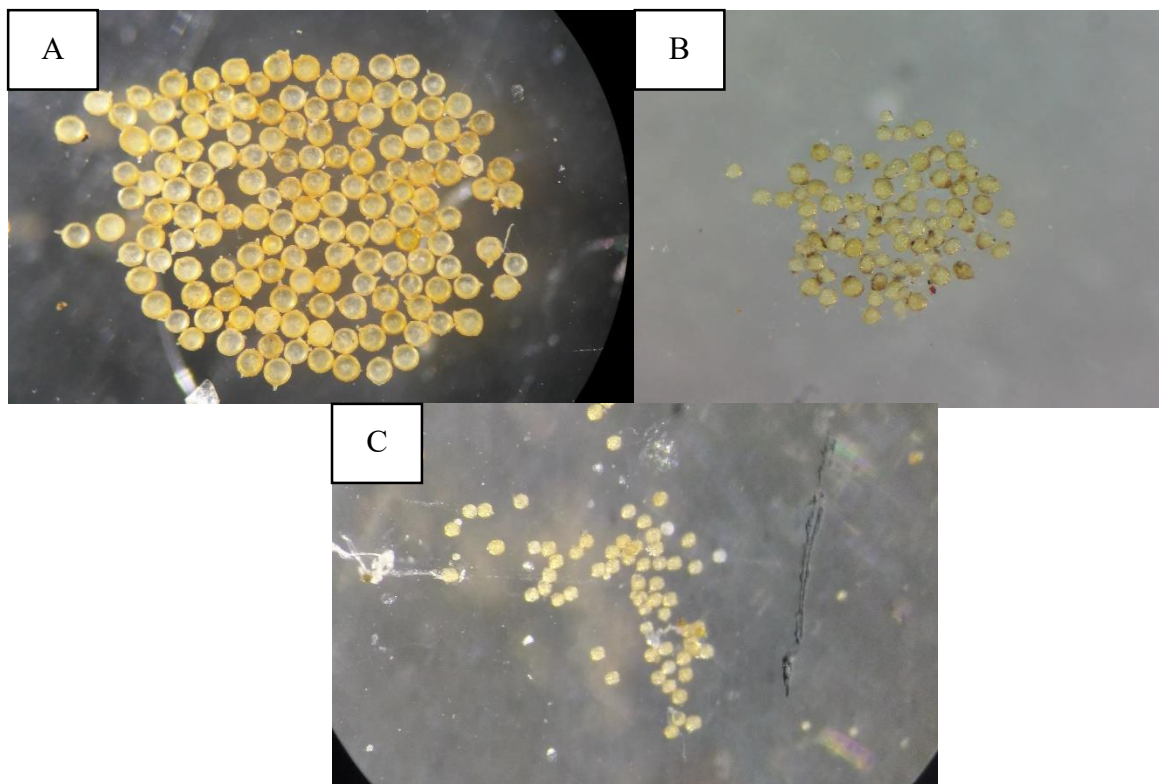


Figura 29. Observaciones de esporas de hongos micorrízicos arbusculares a través de esteromicroscopio. A) *Ambispora appendicula* B) *Acaulospora rugosa* C) *Acaulospora* sp.

3.3 Concentración de fósforo foliar

3.3.1 Contenido de Fósforo

En la tabla 16 puede verse el análisis de varianza para el contenido de fósforo (%) en leguminosas de cobertura, evaluado en condiciones de vivero, los que indican que existen diferencias significativas para las leguminosas (A) y los hongos micorrízicos arbusculares (B) en los efectos principales, así como en la interacción de Leguminosa y Hongo Micorrízico Arbuscular (AxB).

Tabla 16

Análisis de varianza para el contenido de fósforo (%) en leguminosas de cobertura.

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	15	20.943	1.39622	19.73	0.000
Lineal	6	12.364	2.06067	29.12	0.000
Leguminosas	3	9.917	3.30572	46.71	0.000
HMA	3	2.447	0.81562	11.53	0.000
Interacciones de 2 términos	9	8.579	0.95325	13.47	0.000
Leguminosas*HMA	9	8.579	0.95325	13.47	0.000
Error	32	2.265	0.07077		
Total	47	23.208			

En la tabla 17 el coeficiente de variabilidad es de 3,17% y el Coeficiente de Determinación es de 90.24 %, estos valores encuentran aceptables para trabajos realizados en vivero según Calzada Benza (1964).

Tabla 17

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	C.V
0.266024	90.24%	85.67%	3,17

R2: Coeficiente de determinación.

S: desviación estándar de la separación entre los valores de datos y los valores ajustados.

Tabla obtenida del software estadístico Minitab 18.

El valor de R2 obtenido en este estudio es de 90,24 %, por lo tanto, se puede decir que el 90,24 % de la variación observada en el contenido de fósforo es explicada por el modelo, resultados que se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable para trabajos realizados en vivero según (Calzada Benza, 1964). Esto muestra la relación entre los factores de Leguminosas y Hongos micorrízicos arbusculares es descrita adecuadamente en los niveles estudiados para el indicador respuesta de contenido de fósforo. Además, según la

Tabla17, el coeficiente de determinación ajustado resultó ser de 85,67%, indicando que el modelo si es adecuado para predecir el contenido de fósforo.

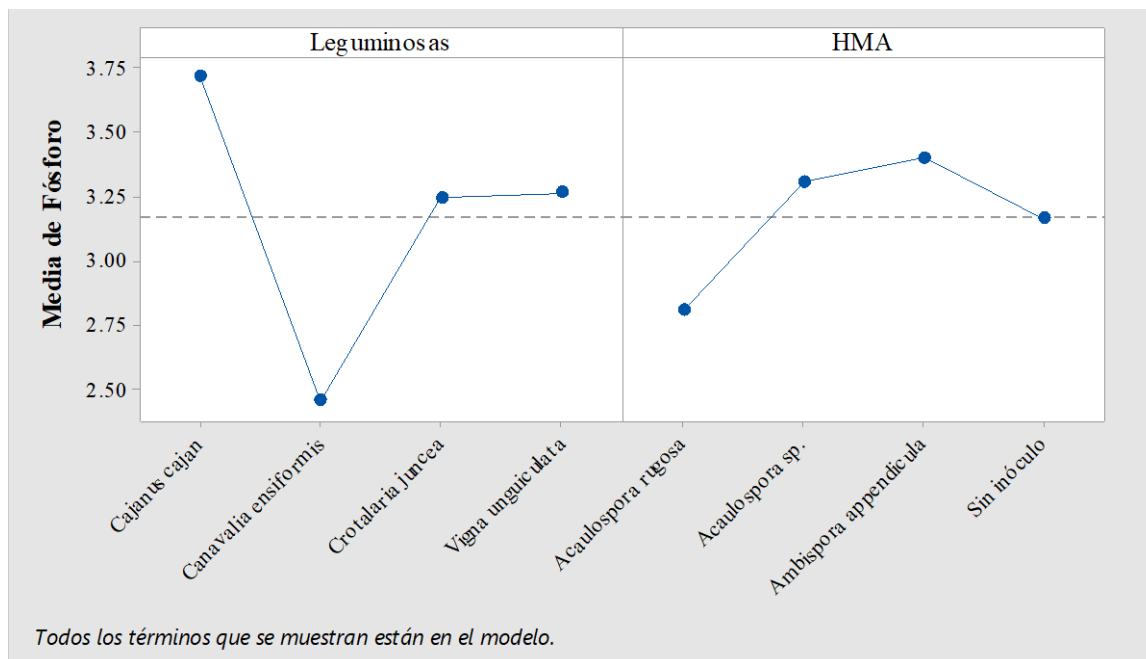


Figura 30. Efectos principales para el contenido de fósforo. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

Los efectos principales leguminosas de cobertura (A) y HMA (B) frente al indicador respuesta contenido de fósforo es significativo (figura 30), es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia, y resalta a la leguminosa *Cajanus cajan* y la especie de HMA *Ambispora appendicula*. Sin embargo, en los análisis factoriales se analizan las interacciones de orden mayor que resulten significativas. Por lo tanto, en la figura 31 muestra las interacciones de leguminosas y HMA.

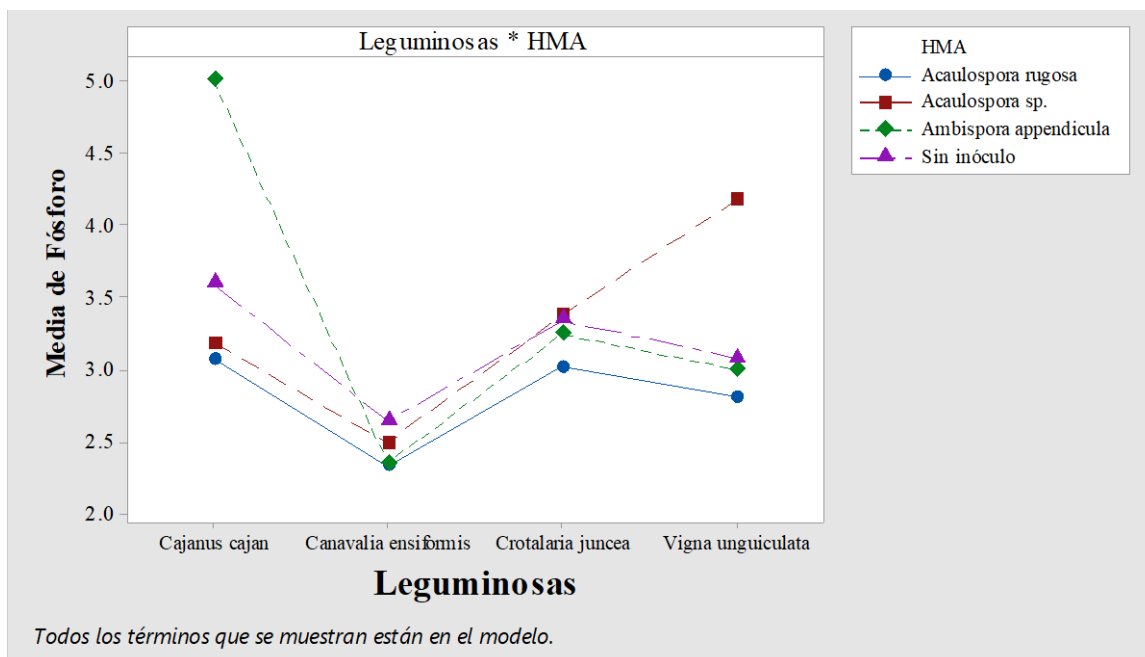


Figura 31. Efectos simples o interacción para el contenido de fósforo. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

El efecto simple o interacción leguminosas de cobertura y HMA (A x B), es significativo (figura 31), es decir los niveles de estos factores no siguen la misma tendencia y los datos se cruzan, lo que muestra el factor leguminoso depende del factor HMA y se debe recomendar al tratamiento que interactúan mejor entre estos factores.

Por lo tanto, se realizó el análisis de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 32) correspondiente al índice biológico según tratamientos

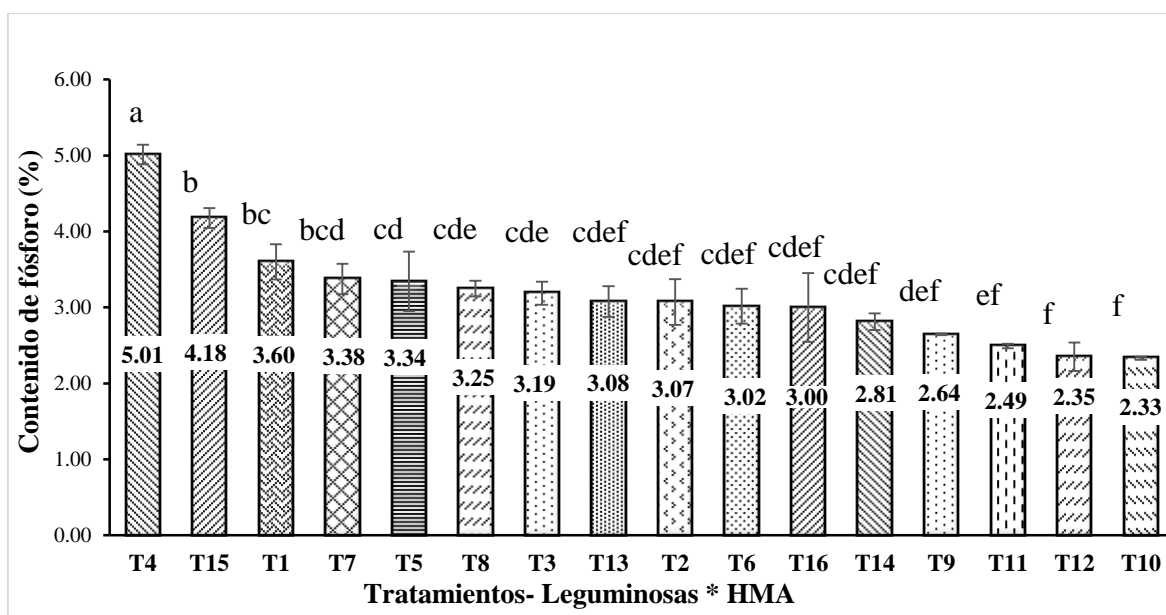


Figura 32. Prueba de Tukey ($p < 0,05$) para contenido de fósforo de leguminosas de cobertura. Obtenida mediante el software estadístico Minitab 18.

El análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 32) correspondiente al índice Fisiológico, contenido de fósforo %, de las leguminosas en presencia de diferentes especies de HMA, muestra que el mejor tratamiento es el T4 (*Cajanus cajan* inoculada con *Ambispora appendicula*) tuvo el mayor contenido de fósforo (5,01 %), el T15 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp) con 4,18%, T1 (*Cajanus cajan* sin inóculo) con 3,60%, T7 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora* sp) con 3,38%, T5 (*Crotalaria juncea* sin inóculo) 3,34%. Los tratamientos T8 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 3,25% y T3 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora* sp) con 3,19% son estadísticamente iguales. Asimismo el T13 (*Vigna unguiculata* sin inóculo) obtuvo 3,8%, T2 (*Cajanus cajan* inoculada con *Acaulospora rugosa*) 3,07 %, T6 (*Crotalaria juncea* inoculada con *Acaulospora rugosa*) 3,02%, T16 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 3% , T14 (*Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa*) con 2,81% de contenido de fosforo, T9 (*Canavalia ensiformis* sin inóculo) con 2,64%, T11 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Acaulospora* sp) 2,49%. Finalmente el T12 (*Canavalia ensiformis* inoculada con *Ambispora appendicula*) con 2,35% y T10 (*Canavalia ensiformis* inoculado con *Acaulospora rugosa*) 2,33% estos fueron los valores mas bajos con respecto a este indicador.

Los resultados muestran efectos positivos en las leguminosas *Cajanus cajan* y *Vigna unguiculata*. Las especies de HMA, *Ambispora appendicula* y *Acaulospora* sp.

Respectivamente, aumentaron el contenido de fosforo, este mismo efecto se observó el trabajo realizado por Martín et al., (2010) donde la extracción de nutrientes en la cepa *G. claroideum* produjo un efecto superior a las demás cepas en cuanto a la absorción de P, lo cual fue consecuencia del efecto que tienen los HMA en la mejora de la absorción y el contenido de nutrientes por parte de la planta hospedera, debido a que las micorrizas favorecen la acumulación del fósforo por las raíces (Aguirre-Medina et al., 2007)..Del mismo modo (Hernández-Martínez et al., 2006) manifiesta que la poca fertilidad del suelo permite a los HMA aprovechar con mayor eficiencia escasos nutrimentos del sustrato y los hace disponibles y aprovechables para la planta.

CONCLUSIONES

Se ha encontrado que existe compatibilidad funcional entre leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares expresado en un mejor desarrollo de los indicadores morfológicos de la planta, mejor desarrollo biológico y fisiológico del hongo y un mayor contenido de fósforo en la planta. Diferenciándose de los significativamente de los tratamientos testigos.

Por lo tanto, las siguientes interacciones entre leguminosa de cobertura y hongo micorrízico arbuscular que lograron un mejor desarrollo morfológico de la planta son: la leguminosa *Canavalia ensiformis* inoculado con el hongo *Acaulospora rugosa* presentó una mejor altura de planta de 271,67 cm, la leguminosa *Crotalaria juncea* inoculada con el hongo *Acaulospora* sp obtuvo el mayor número de hojas de 149,33, la leguminosa *Crotalaria juncea* inoculada con el hongo *Acaulospora* sp mostró mas biomasa fresca aérea de 88,3 g y la leguminosa *Crotalaria juncea* inoculada con el hongo *Acaulospora* sp obtuvo mayor biomasa seca de 27,52 g.

Además, las interacciones entre leguminosa y HMA que lograron un mejor desarrollo biológico del hongo son: la leguminosa *Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora rugosa* logró un mayor porcentaje de colonización de 71,48 % y la leguminosa *Vigna unguiculata* inoculada con *Acaulospora* sp obtuvo más número de esporas de 600.

Y la interacción entre leguminosa y HMA que tuvo el mayor contenido de fósforo de 5,01% fue al inocular la leguminosa *Cajanus cajan* con el hongo *Ambispora appendicula*.

Finalmente los resultados obtenidos demostraron que las leguminosas de cobertura, presentaron efectos positivos con las especies de HMA, obteniéndose mejores resultados con las especies de hongos *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora* sp.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los investigadores de biología molecular y agrícola de la Universidad Nacional de San Martín realizar pruebas de campo utilizando las interacciones que mejor respondieron en cuanto a los indicadores morfológicos de la planta, desarrollo biológico y fisiológico del hongo y contenido de fósforo en la planta.

Se recomienda inocular las especies de hongos micorrizicos *Acaulospora rugosa* y *Acaulospora sp.* en las 4 especies de leguminosas para recuperar suelos degradados.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Alarcón, A., & Cerrato, R. F. (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 179-191.
- Alonso-Contreras, R., Aguilera-Gómez, L. I., Rubí-Arriaga, M., González-Huerta, A., Olalde-Potugal, V., & Rivas-Manzano, I. V. (2013). Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annum* L. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(1), 77-88.
- Al-Qarawi, A. A., Mridha, A. U., & Dhar, P. (2013). Report of *Funneliformis mosseae* (Nicol. & Gerd.) Gerd. And Trappe from Rangelad Soil of Saudi Arabia. *Research journal of biotechnology*, 8(2), 96-99.
- Atlas de botánica. (2013). *El Mundo de las Plantas* (Cultural de Ediciones, S.A.).
- Barea, J. M. (1991). Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae as Modifiers of Soil Fertility. En B. A. Stewart (Ed.), *Advances in Soil Science: Volume 15* (pp. 1-40). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3030-4_1
- Barrios López, L. (2017). *Selección de morfotipos de hongos Micorrízicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la sub cuenca del Cumbaza* [Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto].
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2585>
- Barrios, R., Arteaga, A., Calzadilla, H., Barreto, F., & Fariñas, J. (2008). Efecto del sombreado artificial sobre el establecimiento de leguminosas promisorias como cobertura en palma aceitera en el estado Monagas. *Agronomía Tropical*, 58(1), 31-34.
- Barbara, R., de Souza, F., & Fonseca, H. (2006). III -Fungos micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. *SBCS, Viçosa*, 53-85.

- Bieto, A. J., & Talon, M. (2014). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw- Hill Interamericana.
- Binder, U. (1997). *Manual de leguminosas en Nicaragua. Tomo I y II* (Primera Edición).
PASOLAC, E.A.G.E.
- Brundrett, M., Piche, Y., & Peterson, R. (1985). A developmental study of the early stages in vesicular–arbuscular mycorrhiza formation. *Canadian Journal of Botany*, 63(2), 184-194.
<https://doi.org/10.1139/b85-021>
- Burity, H. A., Lyra, M. D. C. C. P. D., Souza, E. S. D., Mergulhão, A. C. D. E. S., & Silva, M. L. R. B. D. (2000). Effectiveness of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* sp. on *Mimosa caesalpiniiifolia* seedlings, under different phosphorus levels. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(4), 801-807. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000400018>
- Caldera, E., Acosta, K., Garcés, G., Petit, B., Gutiérrez, W., & Pérez, C. (2013). Respuesta del cultivo fríjol (*Vigna unguiculata* L. Walp) variedad catatumbo a la inoculación con micorrizas nativas y comerciales bajo condiciones controladas. *REDIELUZ*, 3(1 y 2), 157-164.
- Calzada Benza, J. (1964). *Metodos estadisticos para la investigacion*. Sesator.
<https://www.worldcat.org/title/metodos-estadisticos-para-la-investigacion/oclc/710880272>
- Cardoso, E., Nogueira, M., & Zangaro, W. (2017). Importance of Mycorrhizae in Tropical Soils. En *Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics* (pp. 245-267).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2_11
- Carvalho, D. T. Q., Gomes, D. F., Morais, T. A. F., Melo, N. F., & Yano-Melo, A. M. (2010). Associação Micorrízica em Plantas Forrageiras e seu Efeito no Crescimento de Duas Variedades de *Cajanus cajan*, Cultivados em Argissolo e Neossolo. *Revista Científica de Produção Animal*, 12(1), 31-34. <https://doi.org/10.15528/2176-4158/rcpa.v12n1p31-34>
- Castillo-Gómez, C., Narváez-Solarte, W., & Hahn-von-Hessberg, C. M. (2016). *AGROMORFOLOGÍA Y USOS DEL Cajanus cajan L. Millsp.* 11.

- Cerrón Macha, J., Castillo, J. del, Mathez-Stiefel, S.-L., & Thomas, E. (2017). Lecciones aprendidas de experiencias de restauración en el Perú. *Biodiversity International, SERFOR, World Agroforestry Centre*, 124.
- Colozzi Filho, A., & Cardoso, E. J. B. N. (2000). Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(10), 2033-2042. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001000015>
- Cruz, C., Correia, P., Ramos, A., Carvalho, L., Bago, A., & Loução, M. A. M. (2008). Arbuscular Mycorrhiza in Physiological and Morphological Adaptations of Mediterranean Plants. En A. Varma (Ed.), *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics* (pp. 733-752). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_34
- Cuéllar, E. A., Martínez, R. L., Espinosa, R. R., & Cuellar, E. E. (2015). Efecto del Nitrógeno y hongos micorrízicos arbusculares en dos clones comerciales de boniato sobre un suelo Pardo mullido carbonatado. *Centro Agrícola*, 42(2), 39-46.
- Cuellar Guzman, S., Tobar Hercules, L. B., & Zelaya Alvarez, J. W. (1997). *Efectividad de Leguminosas (Stizolobium deeringianum y Canavalia ensiformis) Sembrados a Diferentes Épocas y en Asocio con Maíz (Zea mays) para el control de Malezas y ejoramiento para la Fertilidad del suelo* [Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/16451/1/13100165.pdf>
- Cuenca, G., Cáceres, A., Oirdobro, G., Hasmy, Z., & Urdaneta, C. (2007). Las micorrizas arbusculares como alternativa para una agricultura sustentable en áreas tropicales. *Interciencia*, 32(1), 23-29.
- Dalpé, Y., de Souza, F. A., & Declerck, S. (2005). Life Cycle of Glomus Species in Monoxenic Culture. En S. Declerck, J. A. Fortin, & D.-G. Strullu (Eds.), *In Vitro Culture of Mycorrhizas* (pp. 49-71). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-27331-X_4
- De Souza, F. A., Declerck, S., Smit, E., & Kowalchuk, G. A. (2005). Morphological, ontogenetic and molecular characterization of Scutellospora reticulata (Glomeromycota). *Mycological Research*, 109(6), 697-706. <https://doi.org/10.1017/S0953756205002546>

- Duke, J. A. (1983). Handbook of Energy Crops. *Handbook of Energy Crops*.
https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/dukeindex.html
- Esmoris, C. S., Espinosa, R. R., Bencosme, D. C., Santana, R. C., Fernández, C. G., & Caballero, S. U. (2011). Abonos Verdes E Inoculación Micorrízica De Posturas De Cafeto Sobre Suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 11-17.
- Ferrari, A. E., & Wall, L. G. (2015). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 105(2), 63-87.
- Fokom, R., Adamou, S., Teugwa, M. C., Begoude Boyogueno, A. D., Nana, W. L., Ngonkeu, M. E. L., Tchameni, N. S., Nwaga, D., Tsala Ndzomo, G., & Amvam Zollo, P. H. (2012). Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. *Soil and Tillage Research*, 120, 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.004>
- García Rubido, M., Rivera Espinosa, R., Cruz Hernandez, Y., Acosta Aguiar, Y., & Ramón Cabrera, J. (2017a). Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrízico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 7-12.
- García Rubido, M., Rivera Espinosa, R., Cruz Hernandez, Y., Acosta Aguiar, Y., & Ramón Cabrera, J. (2017b). Respuesta de *Canavalia ensiformis* (L.) a la inoculación con diferentes cepas de hongo micorrízico arbuscular en un suelo FARL. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 7-12.
- García Sánchez, R. (2011). *Diversidad funcional de los hongos micorrizógenos arbusculares de islas de recursos del Valle del Mezquital, Hidalgo*. [Tesis de doctorado, Colegio de Postgraduados]. <https://library.co/document/6qmw199z-diversidad-funcional-hongos-micorrizogenos-arbusculares-recursos-mezquital-hidalgo.html>
- Garzón, L. P. (2016). Importancia de las Micorrizas Arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna Azul*, 42, 217-234.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.14>

- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46(2), 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
- Gerdemann, J. W., & Trappe, J. M. (1974). The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir*, 5, 1-75.
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489-500.
- González, P. J., Ramírez, J. F., Rivera, R., Hernández, A., Plana, R., Crespo, G., & Rosales, P. R. (2015). Management of arbuscular mycorrhizal inoculation for the establishment, maintenance and recovery of grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4), 535-540.
- Goto, B. T., & Maia, L. C. (2006). Glomerospores: A new denomination for the spores of Glomeromycota, a group molecularly distinct from the Zygomycota. *Mycotaxon*, 96, 129-132.
- Graham, J. H., Hodge, N. C., & Morton, J. B. (1995). Fatty Acid methyl ester profiles for characterization of glomalean fungi and their endomycorrhizae. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(1), 58-64.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda edición). McGraw-Hill.
https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Guzmán Plazola, R. A., & Ferrara-Cerrato, R. (1990). *La endomicorriza vesículo-arbuscular en las leguminosas* [Universidad Autónoma Chapingo]. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UACHBC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=004353>
- Hernández-Martínez, M., Cetina-Alcalá, V. M., González-Chávez, M. C., & Cervantes-Martínez, C. T. (2006). Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 65-73.

- Hodge, A., & Storer, K. (2015). Arbuscular mycorrhiza and nitrogen: Implications for individual plants through to ecosystems. *Plant and Soil*, 386(1), 1-19. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2162-1>
- Kaonongbua, W., Morton, J. B., & Bever, J. D. (2010). Taxonomic revision transferring species in *Kuklospora* to *Acaulospora* (Glomeromycota) and a description of *Acaulospora colliculosa* sp. Nov. From field collected spores. *Mycologia*, 102(6), 1497-1509. <https://doi.org/10.3852/10-011>
- Kiriachek, S. G., Azevedo, L. C. B. de, Peres, L. E. P., & Lambais, M. R. (2009). Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(1), 1-16. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100001>
- Lekberg, Y., Gibbons, S. M., Rosendahl, S., & Ramsey, P. W. (2013). Severe plant invasions can increase mycorrhizal fungal abundance and diversity. *The ISME Journal*, 7(7), 1424-1433. <https://doi.org/10.1038/ismej.2013.41>
- Ma, X., Luo, W., Li, J., & Wu, F. (2019). Arbuscular mycorrhizal fungi increase both concentrations and bioavailability of Zn in wheat (*Triticum aestivum* L) grain on Zn-spiked soils. *Applied Soil Ecology*, 135, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.11.007>
- Manjarrez-Martínez, M. J., Alarcón, A., & Ferrera-Cerrato, R. (2000). Biotecnología de la producción de inóculo micorrízico arbuscular y su control de calidad. En *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular* (pp. 238-250). Mundi-Prensa.
- Martín, G. M., Arias, L., & Rivera, R. (2010). Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 00-00.
- Montiel, K., & Ibrahim, M. (2016). *Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático: Sistematización del ciclo de foros virtuales: Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015*. IICA.
- Morton, J. B. (1986). Three New Species of *Acaulospora* (Endogonaceae) From High Aluminum, Low Ph Soils in West Virginia. *Mycologia*, 78(4), 641-648. <https://doi.org/10.1080/00275514.1986.12025300>

- Morton, J. B., & Benny, G. L. (1990). Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, *37*, 471-491.
- Morton, J. B., Bever, J. D., & Pflieger, F. L. (1997). Taxonomy of *Acaulospora gerdemannii* and *Glomus leptotichum*, synanamorphs of an arbuscular mycorrhizal fungus in Glomales. *Mycological Research*, *101*(5), 625-631. <https://doi.org/10.1017/S0953756296003073>
- Nazeri, N. K., Lambers, H., Tibbett, M., & Ryan, M. H. (2014). Moderating mycorrhizas: Arbuscular mycorrhizas modify rhizosphere chemistry and maintain plant phosphorus status within narrow boundaries. *Plant, Cell & Environment*, *37*(4), 911-921. <https://doi.org/10.1111/pce.12207>
- Oehl, F., de Souza, F., & Sieverding, E. (2008). Revision of *Scutellospora* and description of five new genera and three new families in the arbuscular mycorrhiza-forming Glomeromycetes. *Mycotaxon*, *106*, 311-360.
- Oporta Pichardo, E. del S., & Rivas Cáseres, A. M. (2006). *Efecto de la densidad poblacional y la época de siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupi rojo [Vigna unguiculata (L.) Walp] en la finca el plantel* [Trabajo de diploma, Universidad Nacional Agraria]. <https://core.ac.uk/download/pdf/35165803.pdf>
- Osorio, C. E. U., Sánchez, D. A. C., Molano, A. E. F., Velásquez, F. A. G., & Agudelo, C. A. L. (2008). Efecto de la micorrización y la fertilización en la acumulación de biomasa en plantas de banano (*Musa AAA cv. Gran Enano*) (Musaceae). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, *61*(1), 4269-4278.
- Petipas, R. H., González, J. B., Palmer, T. M., & Brody, A. K. (2017). Habitat-specific AMF symbioses enhance drought tolerance of a native Kenyan grass. *Acta Oecologica*, *78*, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2016.12.005>
- Potapov, P., Laestadius, L., & Minnemeyer, S. (2011). *Global Map of Forest Landscape Restoration Opportunities*. <https://www.wri.org/applications/maps/flr-atlas/#>

- Qingren, W., Li, Y., Klassen, W., & Hanlon, E. A. (2019). *Crotalaria informacion básica*. SUNN HEMP—A PROMISING COVER CROP IN FLORIDA.
<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/TR003>
- Ramos, A. C., Façanha, A. R., & Feijó, J. A. (2008a). Ion Dynamics During the Polarized Growth of Arbuscular Mycorrhizal Fungi: From Presymbiosis to Symbiosis. En A. Varma (Ed.), *Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics* (pp. 241-260). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-78826-3_12
- Ramos, A. C., Façanha, A. R., & Feijó, J. A. (2008b). Proton (H⁺) flux signature for the presymbiotic development of the arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, *178*(1), 177-188. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02344.x>
- Ramos, A. C., Façanha, A. R., Lima, P. T., & Feijo, J. (2008). PH signature for the responses of arbuscular mycorrhizal fungi to external stimuli. *Plant Signaling & Behavior*, *3*(10), 850-852. <https://doi.org/10.4161/psb.3.10.5992>
- Ramos, A. C., Lima, P. T., Dias, P. N., Kasuya, M. C. M., & Feijó, J. A. (2009). A pH signaling mechanism involved in the spatial distribution of calcium and anion fluxes in ectomycorrhizal roots. *New Phytologist*, *181*(2), 448-462. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02656.x>
- Rangel, W. D. M. (2011). *Simbioses de fungos micorrízicos arbusculares e de rizóbio com leguminosas em solo contaminado com arsênio* [Tesis de maestría, Universidade Federal de Lavras].
http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1659/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Simbioses%20de%20fungos%20micorr%C3%ADzicos%20arbusculares%20e%20de%20riz%C3%B3bio%20com%20leguminosas%20em%20solo%20contaminado%20com%20ars%C3%AAnio.pdf
- Redecker, D., Schüßler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. L., Morton, J. B., & Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, *23*(7), 515-531. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>

- Ríos-Ruiz, W. F., Barrios-López, L., Rojas-García, J. C., & Valdez-Nuñez, R. A. (2019). Mycotrophic capacity and diversity of native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from degraded soils. *Scientia Agropecuaria*, *10*(1), 99-108.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.11>
- Rivera Espinosa, R., Fernández, F., Fernández, K., Ruiz, L., Sánchez, C., & Riera, M. (2007). *Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems* (pp. 151-196). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1771.2162>
- Rodríguez Urrutia, E. A. (2000). *Abonos Verdes y Cultivos de Cobertura. Sub componente de Conservación de Suelos y Agroforestería*. (Primera Edición). MAG, CARE In.
- Salisbury, F., & Roos, C. (2012). *Fisiología de las plantas 1. Células, agua, soluciones y superficies*. Thomson Learning. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=FITOS.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=006268>
- Sanders, F. E. (1993). Modeling plant growth response to vesiculararbuscular mycorrhizal infection. *Adv. Plant Pathol*, *9*, 135-166.
- Schenck, N. C., Spain, J. L., Sieverding, E., & Howeler, R. H. (1984). Several New and Unreported Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia*, *76*(4), 685-699. <https://doi.org/10.1080/00275514.1984.12023899>
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution* *Dedicated to Manfred Kluge (Technische Universität Darmstadt) on the occasion of his retirement. *Mycological Research*, *105*(12), 1413-1421.
<https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- Schüßler, A., & Walker, C. (2010). The Glomeromycota: A Species List With New Families and New Genera. *The Glomeromycota: A Species List With New Families and New Genera*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20198647552>
- Sena, J. O. A., Labate, C. A., & Cardoso, E. J. B. N. (2004). Physiological characterization of growth depression in arbuscular mycorrhizal citrus seedlings under high P levels. *Revista*

Brasileira de Ciência Do Solo, 28(5), 827-832. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500005>

SERFOR-Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2018). *Experiencias de restauración en el Perú. Lecciones aprendidas*. (Primera edición). Bioversity.

<https://www.serfor.gob.pe/portal/wp-content/uploads/2019/01/Experiencias-de-Restauraci%C3%B3n-en-el-Per%C3%BA-Lecciones-aprendidas.pdf>

Smith, S. E., & Gianinazzi-Pearson, V. (1988). Physiological Interactions Between Symbionts in Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39(1), 221-244. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.39.060188.001253>

Smith, S. E., & Read, D. (2008). Colonization of roots and anatomy of arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press: London, 42-90.

Talon, M. (2010). *Fundamentos fisiológicos del fréjol*. McGraw hill interamerica.

http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/docencia_fisiologia-2010.htm

Viasus Triana, C. (2015). Evaluación de la especificidad entre plantas e inóculos comerciales de micorrizas para el desarrollo y producción de arveja (*Pisum sativum* L). [Thesis, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. En *Barbagelata y Melchiori (2010), Evaluacion de la respuesta del cultivo de trigo a la aplicación de*.

<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/3522>

Vierheilg, H., Coughlan, A. P., Wyss, U., & Piché, Y. (1998). La tinta y el vinagre, una técnica de tinción simple para los hongos micorrícicos arbusculares. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12).

Walker, C. (2008). *Ambispora* and *Ambisporaceae* resurrected. *Mycol Res*, 112, 297-298.

Walker, C., Vestberg, M., Demircik, F., Stockinger, H., Saito, M., Sawaki, H., Nishimura, I., & Schüßler, A. (2007). Molecular phylogeny and new taxa in the Archaeosporales (Glomeromycota): *Ambispora fennica* gen. sp. nov., *Ambisporaceae* fam. nov., and emendation of *Archaeospora* and *Archaeosporaceae*. *Mycological Research*, 111(2), 137-153. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.11.008>

- Walker, C., Vestberg, M., & Schüßler, A. (2007). Nomenclatural clarifications in the Glomeromycota. *Mycological Research*, *111*, 253-256.
<https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.02.009>
- Wright, S. F., Morton, J. B., & Sworobuk, J. E. (1987). Identification of a Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungus by Using Monoclonal Antibodies in an Enzyme-Linked Immunosorbent Assay. *Applied and Environmental Microbiology*, *53*(9), 2222-2225.
- Yaseen, T., Burni, T., & Hussain, F. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal inoculation on nutrient uptake, growth and productivity of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties. *African Journal of Biotechnology*, *10*(43), 8593-8598. <https://doi.org/10.4314/ajb.v10i43>

Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín

por Luz Elizabeth Valdiviezo Saavedra

Fecha de entrega: 05-dic-2023 12:37p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2248945484

Nombre del archivo: TESIS_LUZ_ELIZABETH_VALDIVIEZO_SAAVEDRA_2.docx (19.42M)

Total de palabras: 18745

Total de caracteres: 106610

Compatibilidad funcional entre especies de leguminosas de cobertura y hongos micorrízicos arbusculares, bajo condiciones de invernadero en la región San Martín

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	doi.org Fuente de Internet	7%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	helvia.uco.es Fuente de Internet	1%
6	www.cubadiplomatica.cu Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%