



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 - TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Estudio de la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la región San Martín

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo

AUTOR:

Ronny Anthony Acosta Córdova

ASESOR:

Dr. Agustín Cerna Mendoza

CO - ASESOR:

Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin

Tarapoto – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



Estudio de la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en la región San Martín

AUTOR:

Ronny Anthony Acosta Córdova

Sustentada y aprobada el 18 de junio del 2021, ante el honorable jurado:

Dr. Winston Franz Ríos Ruiz

Presidente

Ing. M. Sc. Manuel Santiago Doria Bolaños

Secretario

Ing. Eybis José Flores García

Vocal

Dr. Agustín Cerna Mendoza

Asesor

Ing. M/Sc. Mike Anderson Corazon Guivin

Co - asesor

Declaratoria de autenticidad

Ronny Anthony Acosta Córdova, con DNI N° 45198547, egresado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Agronomía, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Estudio de la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.), 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 referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto 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 mí accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 18 de junio del 2021.



.....
Bach. Ronny Anthony Acosta Córdova

DNI N° 45198547

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: ACOSTA CORDOVA RONNY ANTHONY	
Código de alumno : 071151	Teléfono: 942673654
Correo electrónico : rromcor92@gmail.com	DNI: 45198547

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

2. Datos Académicos

Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS
Escuela Profesional de: AGRONOMIA

3. Tipo de trabajo de investigación

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

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES (HMA) EN EL CULTIVO DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis L.), EN LA REGIÓN SAN MARTIN
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 – Tarapoto, 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 - Tarapoto, 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-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, 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 a 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 y huella del Autor

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

Fecha de recepción del documento.

29/09/2021



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

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
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.

Dedicatoria

*A mis queridos padres: **Víctor Arturo Acosta Castillo** y madrecita que me guía desde el cielo **Flor de María Cordova Gatica**, quienes, con su amor infinito, abnegación, paciencia y sabiduría, siempre me mostraron su confianza y apoyo incondicional, permitiéndome alcanzar cualquiera de las metas que me proponía..*

A mis hermanos Jhony Arturo Acosta Cordova (desde el cielo), Jorge Alonso Acosta Cordova y familiares, que siempre me ofrecieron su cariño, sus ánimos y las ganas de seguir adelante.

A todos los integrantes del Laboratorio de Biología y Genética Molecular – FCA – UNSM, y permitir ser parte de este equipo de investigación.

Agradecimiento

Al Dr. Agustín Cerna Mendoza por su asesoramiento en el proceso de desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin, por brindarme la oportunidad de poder realizar este trabajo de investigación y ser parte del equipo de investigación del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM).

A los miembros del equipo de investigación del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (Roger, Amner, Hernán, Adela, Suinky, Kelita) y colaboradores externos como la Dra. Laura Hernández Cuevas, Dr. Santos Carballar Hernández y Dr. Fritz Oelh.

Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice general	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Lista de siglas o abreviaturas.....	xii
Resumen	xiii
Abstract.....	xiv
 Introducción.....	 1
 CAPITULO I	 3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación	3
1.2. Origen y Distribución Geográfica.....	4
1.3. Clasificación Taxonómica	4
1.4. Morfología Sacha Inchi.....	4
a. Planta	4
b. Hojas.....	4
c. Flores	4
d. Frutos.....	5
e. Semilla.....	5
1.5. Micorrizas	5
1.6. Micorrizas Arbusculares	5
1.7. Importancia de los Hongos Micorrizicos Arbusculares	6
1.8. Clasificación actual de los Glomeromycota	7
1.9. Simbiosis planta – hongo	8
1.10. Estructura de HMA	9
1.11. Principales géneros.....	12
 CAPÍTULO II.....	 14
MATERIAL Y METODOS	14
2.1. Tipo de Investigación.....	14
2.2. Nivel de Investigación	14
2.3. Diseño de Investigación.....	14

2.4. Población y Muestra	14
2.4.1. Población.....	14
2.4.2. Muestra.....	14
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	14
2.5.1. Técnicas.....	14
2.5.2. Instrumentos	15
2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	15
2.6.1. Tratamientos en estudio	15
2.7. Materiales y métodos	15
2.7.1. Materiales	15
2.7.2. Métodos	16
2.8. Actividades realizadas	20
2.9. Variables evaluadas	26
2.9.1. Variables del suelo	26
2.9.2. Variables biológicas	26
2.9.3. Variables ecológicas.....	27
2.9.4. Descripción morfológica de HMA identificadas	28
 CAPÍTULO III	 29
RESULTADOS Y DISCUSIONES	29
3.1. Variables del suelo	29
3.1.1. Parámetros del suelo.....	29
3.2. Variables biológicas.....	33
3.2.1. Porcentaje de Colonización micorrízica.....	33
3.2.2. Densidad de esporas	38
3.2.3. Riqueza de especies.....	42
3.2.4. Taxonomía de la comunidad HMA identificada	50
3.2.5. Parámetros ecológicos de riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad	53
3.3. Descripción morfológica de cada especie HMA identificado en 12 localidades de la Región San Martín	54
 CONCLUSIONES.....	 66
 RECOMENDACIONES	 67
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 68

Índice de tablas

Tabla 1: Clasificación actual de los Hongos Micorrizicos Arbusculares del Phylum Glomerycota.....	7
Tabla 2: Tratamientos en estudio.	15
Tabla 3: Ubicación geográfica y características de las parcelas en estudio.	18
Tabla 4: Medidas de diversidad usadas para describir la comunidad de HMA.	28
Tabla 5: Parámetros físicos y químicos de las localidades de estudio.	30
Tabla 6: Análisis de varianza para el porcentaje de colonización micelial, hifa, vesícula y arbusculo.	33
Tabla 7: Análisis de varianza para la densidad de esporas, presentes en 10 g de suelo.	38
Tabla 8: Análisis de varianza para la riqueza o diversidad de especies de HMA en sacha inchi.....	43
Tabla 9: Especies de HMA identificadas en el cultivo de Sacha inchi en las 4 provincias de estudio.....	45
Tabla 10: Ubicación Taxonómica de los Hongos Micorrízicos Arbusculares Identificados.	52
Tabla 11: Medidas ecológicas para describir la estructura de la comunidad de HMA. ...	53
Tabla 12: Descripción morfológica de HMA identificados taxonómicamente en doce localidades de parcelas de sacha inchi en la región San Martín.	55

Índice de figuras

Figura 1: Mapa georreferencial de la ubicación de las cuatro provincias y 12 localidades de la zona de colecta en la región San Martín.	17
Figura 2: Cuantificación HMA, interior del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM).....	19
Figura 3: Proceso de colecta del suelo rizosférico de las plantas de Sacha inchi	20
Figura 4: A: Secado, B: Cortes de 2 cm raíces secundarias C: Refrigerado 4 a 6 °C suelo rizosférico para análisis Físico químico y Biológico, D: Conservación de raíces (secundarias y terciarias).	21
Figura 5: Procedimiento de aislamiento de esporas de hongos micorrizicos arbusculares en 10 g de suelo.	23
Figura 6: Conteo de esporas HMA.....	24
Figura 7: Proceso de tinción de raíces en plántulas de café	25
Figura 8: Proceso de determinación del porcentaje (%) de colonización en el cultivo de sachá inchi.....	26
Figura 9: Análisis multivariado de las condiciones ambientales, físico y químicas del suelo, en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín. Donde cada punto representa una planta teniendo cinco plantas por localidad.	33
Figura 10: Prueba de Tukey ($P < 0.05$), para el porcentaje de colonización micelial, hifas, vesículas y arbusculos, en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín.....	34
Figura 11: Número de estructuras fúngicas de HMA de cuatro provincias	34
Figura 12: Estructuras fúngicas.....	38
Figura 13: Prueba de Tukey ($P < 0.10$), para la densidad de esporas presentes en 10 g de suelo en sachá inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.).	39
Figura 14: Número total de esporas de hongos micorrizicos arbusculares, en 10 g de suelo rizosférico ubicadas en 12 localidades de 4 provincias pertenecientes a la Región San Martín.	39
Figura 15: Prueba de Tukey ($P < 0.05$), para la riqueza o diversidad de especies de HMA, presentes en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín.	43
Figura 16: Presenta el número de especies de Hongos Micorrizicos Arbusculares en el cultivo de sachá inchi, identificados en las 4 provincias de estudio de la región San Martín.....	44

Lista de siglas o abreviaturas

HMA	: Hongos Micorrizicos Arbusculares
DCA	: Diseño completamente al azar
sp	: Una especie del género
spp	: Varias especie del género
rpm	: Revoluciones por minuto
gss	: Gramos de suelo seco
°C	: Grados Celsius
ANVA	: Análisis de varianza
CV	: Coeficiente de variabilidad
R²	: Coeficiente de determinación
PVLG	: Polivinílico ácido-láctico-glicerol
LBGM	: Laboratorio de Biología y Genética Molecular
FCA	: Facultad de Ciencias Agrarias
UNSM-T	: Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto

Resumen

La diversidad de hongos micorrizicos arbusculares (HMA), que se registró en el cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) registrados en este cultivo dentro de la región San Martín. Es un gran aporte para la ciencia de estos organismos simbioses para el mundo que viven en los suelos de las 12 localidades de 4 provincias de nuestra región y en especial de este cultivo oriundo de nuestra amazonia. En este sentido se logró identificar 32 especies de HMA, se determinó una especie nueva (*Funneliglomus sanmartinense*), registrándose exactamente en los suelos de la provincia de El Dorado localidad de Santa Cruz, y en vivero de multiplicación de plantas micorrizadas en cultivos puros de HMA, pertenecientes al Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM). Por consiguiente, las mejores fuentes de inóculo fueron las localidades de Palmiche (Lamas) y Barranquita (El Dorado), con 42 y 41 esporas respectivamente. Con respecto a la riqueza de especies la localidad de Palmiche (Lamas) y Bello Horizonte (San Martín) son los que presentaron la mayor riqueza de especies con 14 y 13 respectivamente. Se evidencio a través de correlación que los parámetros físicos y químicos de los suelos tienen influencia directa o inversa en la colonización y esporulación de HMA en algunas fuentes de inóculo evaluadas. Así mismo, se demostró mediante correlación, que los parámetros físico – químicos del suelo influenciaron directa o inversamente en la esporulación y colonización de los HMA en algunas fuentes de inóculo evaluadas, la mejor fuente de inóculo fue la localidad de Dos de Mayo y Barranca (Bellavista), la cual en comparación con las demás localidades y en especial con Palmiche, Barranca y Barranquita (mayor densidad de esporas y riqueza de especies), se podría afirmar que las especies de HMA de Dos de Mayo y Barranca fueron los mejores colonizadores de raíces de sachá inchi en condiciones de campo. Las especies dominantes pertenecen al género *Glomus* y *Claroideoglomus*, presentando gran cantidad de esporas en todos los inóculos evaluados y la especie *Acaulospora*, no está muy distante de las mencionadas lo que significa un avance crucial en dicho cultivo.

Palabras clave: Hongos Micorrizicos Arbusculares, inóculo, *Plukenetia volubilis* L., *Glomus*, *Funneliglomus sanmartinensis*, especies, densidad, esporas.

Abstract

The diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), which was recorded in the culture of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) recorded in this culture within the San Martín region. It is a great contribution to the science of these symbiotic organisms for the world that live in the soils of the 12 localities of 4 provinces of our region and especially of this native crop of our Amazon. In this sense, it was possible to identify 32 species of HMA, a new species was determined (*Funneliglomus sanmartinense*), registering exactly in the soils of the province of El Dorado, locality of Santa Cruz, and in a nursery for the multiplication of mycorrhized plants in pure AMF cultures, belonging to the Laboratory of Molecular Biology and Genetics (LBGM). Consequently, the best sources of inoculum were the localities of Palmiche (Lamas) and Barranquita (El Dorado), with 42 and 41 spores respectively. Regarding the richness of species, the localities of Palmiche (Lamas) and Bello Horizonte (San Martín) are the ones that presented the highest species richness with 14 and 13 respectively. It was evidenced through correlation that the physical parameters and chyme of the soils have a direct or inverse influence on the colonization and sporulation of AMF in some sources of inoculum evaluated. Likewise, it was demonstrated through correlation that the physical-chemical parameters of the soil directly or inversely influenced the sporulation and colonization of AMF in some sources of inoculum evaluated, the best source of inoculum was the town of Dos de Mayo and Barranca (Bellavista), which in comparison with the other localities and especially with Palmiche, Barranca and Barranquita (higher density of spores and species richness), it could be affirmed that the AMF species of Dos de Mayo and Barranca were the best colonizers of Sachá inchi roots under field conditions. The dominant species belong to the genus *Glomus* and *Claroideoglomus*, presenting a large number of spores in all the evaluated inoculums and the *Acaulospora* species is not very distant from those mentioned, which means a crucial advance in said culture.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, inoculum, *Plukenetia volubilis* L., *Glomus*, *Funneliglomus sanmartinensis*, species, density, spore.



Introducción

Los Hongos Micorrizicos Arbusculares, HMA sub filum Glomeromycotina (Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., 2016), forman una simbiosis mutualista con más del 95 % de las plantas (Bonfante & Genre, 2010), en la cual la planta proporciona al hongo energía para su crecimiento y mantenimiento a través de sus productos foto-sintéticos, mientras que el hongo proporciona agua y nutrientes como fósforo para la planta (Smith y Read, 2008). En general los Hongos Micorrizicos Arbusculares se adaptan al medio ambiente a partir del cual han sido aislados y colonizan plantas que crecen en suelos con un pH de 2,7 a 9,2 (Clark y Zeto, 1996a, b; Siqueira, J., Hubbell, D. y Valle, R., 1984).

La primera evidencia científica de simbiosis entre *Plukenetia volubilis* y Hongos Micorrizicos Arbusculares fue reportado por Yao-hua, Yan-bao, Yu-long y Zhi-quan C. 2012. La investigación se realizó en Xishuangbanna, china denominada “El efecto sinérgico de la colonización con hongos micorrizicos arbusculares mejora el crecimiento y la tolerancia a la sequía de plántulas de *Plukenetia volubilis*”. Siendo así el primer reporte de asociación simbiótica entre Hongos micorrizicos arbusculares y *Plukenetia volubilis* L.

Posterior a eso se ha desarrollado varios experimentos en vivero donde mostraron el efecto benéfico de esta simbiosis en plántulas inoculadas con estos microorganismos. Cachique (2018), demostró que los la inoculación de HMA en los tratamientos muestran efectos positivos en las plántulas de caféto. Así mismo Mozombite (2017), los tratamientos con consorcios de Hongos Micorrizicos Arbusculares de las localidades de Palmiche, San Antonio de Rio Mayo, y Santa cruz, registraron resultados positivos con respecto al efecto bioprotector contra *Meloidogyne incognita* en plantones de sachá inchi.

Se sabe poco de la diversidad simbiótica de los microorganismos en el cultivo de sachá inchi y los roles que cumplen dentro de este bioma. Las indagaciones de la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares proporciona información básica para evaluar los impactos generados por algunas prácticas agrícolas en la estructura de la comunidad del suelo y estas a su vez genera estudios de que especies de estos hongos se encuentran colonizando las plantas de nuestra Región San Martín.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo general: Determinar la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el Cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en cuatro provincias de la Región San Martín, cuyos objetivos específicos: Identificar morfo-especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en el cultivo de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en cuatro provincias de la región San Martín y evaluar parámetros ecológicos de Hongos Micorrízicos Arbusculares en el cultivo de Sacha inchi en cuatro provincias de la región San Martín.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

Barrios (2017), en su investigación denominado “Selección de morfotipos de hongos micorrizicos arbusculares nativos predominantes asociados a plantas de cobertura de la sub cuenca del Cumbaza”, reportó que la mayor densidad de esporas fue el sector Aucaloma con 332 esporas en promedio, seguido por Vista Alegre, el sector Shapumba, Chontal y San Antonio con (265, 210, 199 y 168 esporas, en promedio respectivamente, todas registrados en 10 g de suelo seco). El sector que registró menos densidad fue Chirikyacu con 77 esporas en 10 g de suelo seco. Este trabajo de investigación logró identificar 11 morfotipos de HMA nativos presentes, siendo los morfotipos del género *Acaulospora* los de mayor predominancia.

Medina (2017), en su tesis de pre-grado titulada: “Biogeografía de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en la región San Martín, Perú”, determinó que la mayor densidad de esporas obtuvo la provincia de Lamas con 167 esporas, seguido de la provincia de Moyobamba con 120 esporas y por último la provincia de dorado con 111 esporas; todas en 10 g de suelo. La época de colecta que mayor número de esporas se registro fue la seca con 158 esporas, seguida de la época húmeda con 107 esporas, y la interacción de las 3 provincias con las 2 épocas de colecta nos dio un registro de que en la provincia de Moyobamba en la época seca se registró 139 esporas y época húmeda 102 esporas, seguido de la provincia de Lamas con 207 esporas en la época seca y en le época húmeda con 127 esporas y por ultima la provincia de Dorado época seca se registró 129 esporas y en la época húmeda con tan solo 92 esporas todas estas evaluadas en 10 g de suelo.

Carballar (2009), su tesis titulada: “Variación temporal de la Diversidad de hongos de micorriza Arbuscular y el potencial micorrizico en especies silvestres de Agave en Oaxaca”, tanto en la gran diversidad de especies con potencial micorrícico que tienen función de proteger los hongos micorrizicos arbusculares las cuales tendrán una enorme importancia en el futuro en las prácticas de manejo con visiones de mantener la diversidad de los ecosistemas. En dicha investigación se identificó 7 géneros y 5 familias y 25 especies de HMA.

1.2. Origen y Distribución Geográfica

En la zona tropical encontramos al género *Plukenetia* con 17 especies, en América se identificó a 12, 3 de origen africano y una especie en Madagascar y Asia (Gillespie, 1993). Está distribuido desde América central hasta Bolivia. En nuestro país este cultivo se desarrolla en estado silvestre en los departamentos de San Martín, Ucayali, Amazonas, Madre de Dios, Junín y Loreto. Esta planta se adapta a suelos arcillosos, ácidos y su crecimiento se ve mejor en climas cálidos. En nuestra región se le puede encontrar en toda la cuenca del Huallaga, en la Provincia de Lamas, en el valle del Sisa, en Alto Mayo, Bajo Mayo hasta Yurimaguas (Manco, 2004).

1.3. Clasificación Taxonómica

Según la página web www.species2000.org (2017), señala:

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malpighiales

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Plukenetia*

Especie: *volubilis* L.

1.4. Morfología Sacha Inchi

a. Planta

Es una liana trepadora, enredadera, voluble, semileñosa, de crecimiento rápido e indeterminado; el eje principal alcanza la altura del soporte o tutor vivo más de 10 metros de largo (Manco, 2003).

b. Hojas

Alternas con color verde oscuro, de formas ovales – elípticas, con nervaduras pinnatinervias, con longitudes de 16 cm y ancho de 6 – 10 cm, ápice con forma puntiaguda y base semi arriñonada (Manco, 2004).

c. Flores

planta hermafrodita es decir tiene ambos sexos de flor, las flores femeninas son pistiladas ubicadas en la base de los racimos y las masculinas estaminadas, de color blanquecino y agrupadas en racimos (Arévalo, 1995).

d. Frutos

Los frutos son capsula con diámetros entre 3.5 y 4.5 cm y generalmente tienen cuatro lóculos los cuales contienen las semillas, pero en algunos ecotipos podemos encontrar hasta 5 a 7 lóculos (Manco, 2003).

e. Semilla

Las semillas son de color marrón, con forma ligeramente abultada en el centro y aplanada en los bordes, los diámetros varían entre 1.3 y 2.1 cm (Manco, 2004).

1.5. Micorrizas

Entre las raíces de las plantas superiores y el suelo se produce una simbiosis excepcional gracias a un tipo de hongo que habita en este, esta asociación se denomina “micorriza” cuyo significado es hongo de la raíz. en el año de 1885 Frank acuño dicho termino, lo cual le dio significado de simbiosis mutualista desarrollada por las raíces de las hospedantes y especies de hongos que habitan el suelo (Simon, Bousquet, Levesque y Lalonde 1993, citado por Tapia (2003).

1.6. Micorrizas Arbusculares

La micorriza arbuscular está muy extendida en condiciones naturales y se encuentra en todos los continentes excepto en la Antártida; se encuentra en todos los suelos, incluidas las minas abandonadas, los suelos agrícolas, los humedales y los hábitats acuáticos (Azcón y Barea, 1980; Bolan, 1991; Corwell, 2001; Tang, White y Charvat, 2001, citado por Perez y Fuentes (2009). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son un factor biológico importante en la estructura y función de los suelos y afectan el comportamiento ecológico, la productividad y la composición de las comunidades de plantas nativas, así como los cultivos y los bosques. Los hongos del suelo deben incluirse en la investigación y el análisis de la biodiversidad a nivel de ecosistema (Guererro, 1996; Van Der Heisden, 1998; Barea, 1998; Jeffries y Barea, 1999, citado por Peres, 2009).

Los HMA establecen relaciones mutualistas con gran número de plantas (Sieverding, 1991), citado por (Tapia, 2003). Esta es una asociación íntima entre las raíces de cerca del 80% de las plantas y hongos del orden Glomales, este orden de hongos está formada por cinco familias y siete géneros constituyendo mayor eficiencia

y absorción de nutrientes, especialmente fósforo, cuando son insuficientes (Morton & Redecker, 2001, citado por Cornejo, 2006).

La presencia de hongos micorrízicos arbusculares en el suelo depende de sus propiedades físicas y químicas. En este aspecto, la supervivencia de estos endófitos está limitada por la profundidad del suelo, y cabe señalar que hay varios de ellos en los primeros 20 o 30 cm del perfil del suelo; es decir, el número de esporas y el grado de colonización de las raíces es menor, cuanto mayor es la profundidad (Abbott & Robson, 1991, citado por Tapia, 2003).

1.7. Importancia de los Hongos Micorrizicos Arbusculares

Como parte integral de la rizosfera, los microorganismos realizan actividades que modifican la morfología y fisiología de las plantas y sus ambientes edáficos. Entre los microorganismos que componen la rizosfera, los hongos micorrízicos arbusculares producen varios efectos beneficiosos. Aumenta la disponibilidad de nutrientes del suelo y aumenta la producción de reguladores del crecimiento de las plantas (Pelczar & Chan, 1984, citado por Tapia, 2003).

La importancia en los ecosistemas naturales y seminaturales, por regla general, no solo mejora la productividad y la diversidad de las plantas, sino que también es inhibida y proporcionada por la mayor resistencia de las plantas al estrés biológico y abiótico. El estrés ambiental es una barrera importante para la sobre experiencia y la reproducción. Estas tensiones incluyen un suministro de agua deficiente, patrones de lluvia impredecibles, grandes áreas y escasez de nutrientes que varían en el tiempo (nitrógeno y fósforo) en los suelos con alta variación espacial y temporal (Zak, Sinsabaugh, y MacKay, 1995). y suelos con alta salinidad (Al-Karaki, 2000).

Hoy en día, se cree cada vez más que las micorrizas aumentan el rendimiento de los cultivos y limitan el uso de pesticidas en los programas agrícolas, hortícolas y forestales y en la restauración ambiental (Taiz & Zeiger, 2006).

Desde un punto de vista ambiental, la presencia, uso y / o aplicación de HMA puede reducir el gasto energético, la degradación del ecosistema y la pérdida de nutrientes de los suelos agrícolas. Además, se mantiene la capacidad del sistema, se mantiene la biodiversidad y, en el largo plazo, se garantiza una producción ambientalmente equilibrada, más estable y sostenible. (Hernández, 2000). Los HMA en un suelo de cultivos es importante y favorece el sistema agrícola.

1.8. Clasificación actual de los Glomeromycota

Tabla 1

Clasificación actual de los Hongos Micorrizicos Arbusculares del Phylum Glomerycota.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO
Glomeromycetes	Glomerales	Glomeraceae	<i>Glomus</i>
			<i>Dominikia</i>
			<i>Funneliformis</i>
			<i>Funneliglomus</i>
			<i>Kamienskia</i>
			<i>Microdominikia</i>
			<i>Microkamienskia</i>
			<i>Nanoglomus</i>
			<i>Oehlia</i>
			<i>Orientoglomus</i>
			<i>Rhizoglomus</i>
			<i>Septoglomus</i>
			<i>Sclerocarpum</i>
			<i>Sclerocystis</i>
			<i>Simiglomus</i>
		Entrophosporaceae	<i>Entrophospora</i>
			<i>Albahypha</i>
			<i>Claroideoglomus</i>
			<i>Viscospora</i>
	Diversisporales	Diversisporaceae	<i>Diversispora</i>
			<i>Desertispora</i>
			<i>Otospora</i>
CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO
Glomeromycetes	Diversisporales	Diversisporaceae	<i>Tricispora</i>
			<i>Redeckera</i>
			<i>Corymbiglomus</i>
		Sacculosporaceae	<i>Sacculospora</i>
		Pacisporaceae	<i>Pacispora</i>
		Acaulosporaceae	<i>Acaulospora</i>
			<i>Kuklospora</i>
		Gigasporaceae	<i>Gigaspora</i>
	Gigasporales	Scutellosporaceae	<i>Scutellospora</i>
			<i>Bulbospora</i>
			<i>Orbispora</i>

		Racocetraceae	<i>Racocetra</i>
			<i>Cetraspora</i>
		Dentiscutataceae	<i>Dentiscutata</i>
			<i>Fuscutata</i>
		Intraornatosporaceae	<i>Quatunica</i>
			<i>Intraornatospora</i>
			<i>Paradentiscutata</i>
			<i>Archaeospora</i>
		Archaeosporaceae	<i>Intraspora</i>
			<i>Palaeospora</i>
Archaeosporomycetes	Archaeosporales	Ambisporaceae (= Appendicisporaceae)	<i>Ambispora</i> (= <i>Appendicispora</i>)
		Geosiphonaceae	<i>Geosiphon</i>
Paraglomeromycetes	Paraglomerales	Paraglomeraceae	<i>Paraglomerus</i>
			<i>Innospora</i>
		Pervetustaceae	<i>Pervetustus</i>

Fuente: Oehl et al., (2019).

1.9. Simbiosis planta – hongo

Las ramificaciones intracelulares muy delgadas y en forma de árbol de las hifas representan la característica principal de la simbiosis micorrízica. De hecho, representan un grado extremo de cercanía y compatibilidad. La formación de ramificaciones intracelulares muy delgadas “arbusculos” en las células huésped está asociada con cambios morfológicos y fisiológicos en ambos simbioses. El hongo invade las células corticales internas, donde se ramifica ampliamente en una estructura que llena por completo las células corticales. (Paszkowski, 2006).

Como resultado, la arquitectura de la célula huésped cambia: el núcleo se mueve de una posición periférica a una posición central, la vacuola comienza a fragmentarse y la vasta membrana peri arbuscular se sintetiza continuamente en una membrana plasmática (Harrison, 1999).

Durante el establecimiento de la simbiosis, se demostró que las señales moleculares intercambiadas entre las plantas y los HMA proporcionan germinación, penetración y desarrollo radical de estos hongos (Gao, Wang, Milgrom y Shen, 2004), sin embargo, la planta reacciona con un aumento reducido de los niveles de proteínas, ya que estos HMA se reconocen inicialmente como patógenos.

Cuando las plantas se infectan con microorganismos del suelo se desencadenan una serie de cambios fisiológicos y bioquímicos que no ocurren cuando la HMA coloniza la planta, apoyando la hipótesis de que el hongo emite señales que la planta reconoce sin provocar una reacción de defensa. Además, la planta también secreta compuestos de naturaleza volátil o difusa (exudados), que estimulan el crecimiento de hifas en varios puntos de control durante la colonización fúngica (Gadkar, Schwartz, Kunik y Kapulnik, 2001).

1.10. Estructura de HMA

A. Esporas

Las esporas son una forma en que se mantienen a través del tiempo los HMA por naturaleza y, aunque el ciclo de vida de los HMA puede comenzar con otros propágulos como las redes miceliales y los fragmentos de raíces colonizadas (Ordoñez, 2009), las esporas son más resistentes a las condiciones ambientales y pueden entrar en estado latente engrosamiento de su pared, si la condición del medio es desfavorable (Giovannetti y Gianiniazzi-Pearson, 1994) citado por (Tena, 2002).

Estas esporas o clamidosporas son células reproductoras, producidas asexualmente, que pueden residir individualmente en el suelo, en las raíces de una planta huésped, o formar masas densas y desestructuradas llamadas esporocarpios. La mayoría de ellos son esféricos, pero algunas especies tienen esporas ovaladas u oblongas; de él emerge una hifa de apoyo, que en conjunto dan la apariencia de un globo del que cuelga una cuerda. Las esporas son de diferentes colores: blanco, amarillo, marrón, etc. Su tamaño puede variar de 20 a 50 micrones, y en el más grande, de 200 a 1000 micrones (Brundrett, Bougher, Dell, Grove y Malajczuk, 1996).

Son multinucleadas y contienen gotitas de lípidos y otros contenidos de diferentes colores, y cuando las esporas se desintegran en un portaobjetos de vidrio, se transforman en gotitas pequeñas o grandes que ayudan a identificar el hongo. La pared de esporas está compuesta por una o más laminillas que difieren en el grosor, estructura, apariencia y color del reactivo, lo que también ayuda a los taxónomos a identificar especies (Reyes, 2011).

B. Micelio extra radical de los HMA

Como se mencionó anteriormente, de las esporas emergen hilos llamados hifas. Todas las esporas se conocen como micelio, a través del cual el hongo coloniza la planta huésped. Durante el establecimiento de la simbiosis MA, el hongo coloniza la corteza de la raíz, desarrolla una amplia variedad de hifas exóticas que imitan un sistema de raíces adicional y altamente eficiente, y la planta recibe nutrientes minerales y agua del suelo. Luego, la planta hospedante proporciona al hongo una fuente de carbono para la fotosíntesis y un nicho ecológico protegido (Karandashov & Bucher, 2005; Smith & Read, 2008). El micelio externo incluye micelio y esporas (Smith & Read, 2008).

Inicialmente, se desarrollan hifas relativamente gruesas, llamadas hifas exploratorias, en la parte superior. Estas hifas se ramifican (hifas secundarias) y luego se ramifican de nuevo. Las hifas llamadas exploratorias están involucradas en la progresión del micelio y el crecimiento de colonias de hongos. Este micelio externo actúa como un sistema de raíces adicional que se extiende más allá del área agotada de nutrientes cerca de la raíz (Bucher, 2006).

Su función es encontrar, absorber y transportar nutrientes vegetales, especialmente aquellos que se difunden lentamente en soluciones del suelo como fósforo, zinc, cobre y amonio. Por tanto, la definición de eficacia o eficiencia está relacionada con la cantidad de micelio radical colonizado por las raíces (Hernández, Guadarrama, Sánchez, y Ramos, 2008), esto se define como la capacidad de los HMA para afectar positivamente la capacidad de las especies de plantas asociadas en relación con otras especies de plantas que crecen en su ausencia., (Herrera y Ferrer, 1984). La simbiosis es cara para las plantas, ya que los hongos consumen del 4 al 20% del carbono de la fotosíntesis. (Parniske, 2008; Wright, Scholes y Read, 1998).

Sin embargo, las hifas son mucho más delgadas que las raíces y puede ser más inconveniente para una planta producir más raíces que establecer una simbiosis que le otorgue propiedades nutricionales (Helgason & Fitter, 2009). El carbono extraído de la planta se utiliza para crear la estructura de las esporas y las hifas. Este carbono se absorbe en forma de hexosa mediante procesos dendríticos dentro de los radicales y se convierte en lípidos y glucógeno. que luego son exportados al micelio externo el cual no tiene la capacidad de absorber carbono del suelo (Smith & Read, 2008).

Estos cambios inducidos por simbiosis amplían el área de exploración de las raíces en las plantas y muestran así su eficacia en la absorción de nutrientes. Uso y factor de crecimiento según consorcio de micorrizas que estén asociadas y o inoculadas en las raíces (Barea, Azcón, Ocampo y Azcón, 1991).

C. Arbúsculos

Los hongos de micorrizas arbusculares son hifas modificadas y se consideran la estructura central de la simbiosis de micorrizas arbusculares. De hecho, los hongos micorrízicos arbusculares juegan un papel importante en las principales funciones de interacción, mejorando los nutrientes de las plantas y el control biológico de los patógenos del suelo (Franken, *et al.*, 2007).

Los arbúsculos suelen ser de corta duración, de 4 a 10 días. Luego, el arbúsculo es desnaturalizado y digerido por las células huésped, volviendo a su apariencia y función normales, (Meier, Toth y Weber, 1988; Bonfante-Fasolo & Grippiolo, 1984), citados por (Ordoñez, 2009). Cuando el HMA coloniza la corteza de la raíz se da inicio a un intenso desarrollo intracelular del mismo, que alcanza su máxima expresión en la formación de los arbusculos (Bethlenfalvay 1992; Giovanneti y Gianinazzi-Pearson, 1994).

La membrana plasmática de la célula huésped no está perforada, sino que crece de manera que las hifas osmóticas y todas sus ramas quedan rodeadas por ella. Debido a esta proliferación de la membrana del huésped, que rodea estrechamente la arbizícula, existe una extensa superficie de contacto entre las células de los dos organismos. (Harrison, 1997; Bethlenfalvay 1992). Los estudios histoquímicos han demostrado que este árbol es un órgano especial con una excelente actividad metabólica y muy adecuado para el intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta (Giovanneti y Pearson, 1994) Citado por (Tena, 2002).

D. Vesículas

Concomitantemente o poco después de la formación de arbúsculos, ciertos tipos de bacterias MA forman vesículas intracelulares y / o intercelulares. Las vesículas son estructuras de diversas formas, según su tipo (redondas, ovaladas, etc.), con paredes delgadas formadas por hinchazón de los extremos de las hifas. Estas estructuras almacenan grandes cantidades de lípidos y actúan como depósitos de hongos en situaciones estresantes como la deficiencia de carbohidratos (Smith & Read, 2008).

1.11. Principales géneros

La identificación de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se basa en la observación de las características morfológicas de las hifas presentes tanto en el suelo como en el organismo huésped, y en el análisis morfológico de las esporas (Vega, 2011) menciona los siguientes géneros.

a. Género *Glomus*

Etimológicamente significa “una bola de hilo”. Redecker y Raab (2006), mencionan que *Glomus* es el género más grande en la división Glomeromycota con mayor a 70 morfo especies (rango 60-85% especies de la división Glomeromycota), domina las comunidades de HMA en muchos escenarios de campo, en concordancias con Helgason *et al.*, (1998); Vandenkoornhuyse *et al.* (2002); Zhaoyong *et al.* (2006); Alguacil *et al.* (2009); Öpik *et al.* (2009 y 2010); Sonjak *et al.* (2009); Wilde *et al.* (2009); citado por Montesinos *et al.* (2012), y muestra la más alta colonización de las raíces entre los taxones Glomeromycota, de acuerdo con Hart & Reader (2002).

Las esporas son generalmente de forma esférica y sub esférica, con algunas esporas irregulares de 40 a 70 micrones (μm) de diámetro. Hialino bajo el microscopio varía de amarillo, negro, amarillo-marrón a rojizo o naranja. Forman cuerpos esporocarpos laxos que contienen de 1 a 20 o más esporas. Asimismo, están débilmente unidos por múltiples enlaces miceliales (INVAM, 2013).

Por otro lado, las esporas, a medida que maduran, contienen líquidos aceitosos en forma de gotitas de diferentes tamaños. La germinación es causada por la tensión de las hifas y rara vez atraviesa la pared de las esporas. Las paredes de las esporas forman un solo grupo de paredes gruesas; la pared más externa está laminada con un grosor de 4 micrones, lo que da a las esporas su propio color. Por lo general, hay restos de hifas o articulaciones de hifas en la superficie (INVAM, 2013).

La forma es esférica, ovalada o reniforme. La superficie lisa o rugosa es opaca, escamosa o sin escamas, con pequeñas espinas y verrugas. Las hifas de las esporas son gruesas, de 5 a 6 μm de ancho y se estrechan hacia la base de las esporas. Puede tener varios enlaces miceliales, que pueden ser simples o dobles (INVAM, 2013).

b. Género *Acaulospora*

Etimológicamente significa “esporas sin un tallo”. La espora puede ser globosa, sub globosa, entre otras, y con medidas de 100 - 400 μm en diámetro. De color blanco, café rojizo oscuro, blanca o amarilla oliva al microscopio.

La pared de esporas está formada por dos grupos de paredes fácilmente distinguibles. El grupo más externo, el primer grupo, está formado por las paredes hialinas restantes de la bolsa “sáculo”. Luego aparece una pared laminada, dando a las esporas ese color. La segunda pared se ve muy cerca debajo de la pared laminada. Es más ligero, más fino, más flexible y de menos de 2 micrones de grosor.

Asimismo, el segundo grupo de paredes está formado por dos paredes denominados “germinales”. Es transparente, de 2 micras de espesor y tiene una superficie rugosa. Luego se forma una pared membranosa transparente, que tiende a arrugarse y contiene el citoplasma de las esporas. Finalmente, la pared de esporas es de un color hialino, amarillo transparente, marrón, verde grisáceo que se encuentra en todos los hospedadores de micorrizas arbusculares. Las cicatrices son difíciles de ver debido a la decoración de las esporas. Sin embargo, cuando se ve, parece una marca ovalada con un diámetro de 9 a 16 μm (INVAM, 2013).

c. Género *Funneliformis*

Etimológicamente significa “esporas en forma de embudo”.

Descripción. - Son esporas pigmentadas, se forman individualmente en el suelo o en grupos de 1 a aproximadamente 20 esporas rodeado de un manto grueso de micelio total o parcial. La pared de la espора consiste normalmente en dos o tres capas, cada una con diferentes propiedades que distinguen especies, por ejemplo, color, grosor, reacción al reactivo Melzer, etc. (INVAM, 2013 [en línea]).

d. Género *Rhizoglosum*

Descripción. - Son esporas formadas individualmente, en grupos pequeños o grandes en el suelo y en las raíces. Forman micorrizas arbusculares típicos-vesicular. El desarrollo de las esporas es como la representada por especies del género *Glomus* (es producido en o cerca de la superficie del suelo, como esporas individualmente o en grupos en el suelo) (INVAM, 2013 [en línea]).

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo de Investigación

Es de tipo paramétrica, descriptiva, que busca generar nuevos conocimientos (Investigación Básica).

2.2. Nivel de Investigación

Descriptiva-Explicativa, ya que describe y explica la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares en el cultivo de sachá inchi en la Región San Martín.

2.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es experimental, realizado en condiciones de campo, abarcando 12 localidades distribuidos en las provincias de Lamas, El Dorado, San Martín y Bellavista. En cada localidad identificamos una parcela de sachá inchi de la cual colectamos muestras de suelo y raíces, para el análisis biológico correspondiente en laboratorio.

2.4. Población y Muestra

2.4.1. Población

Diversidad de especies aisladas de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), de 60 muestras colectadas de 12 parcelas de sachá inchi en 4 provincias de la Región San Martín.

2.4.2. Muestra

Identificación de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), aislados de parcelas de Sachá Inchi en la Región San Martín.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los datos se extrajeron de fuentes primarias y se utilizaron las siguientes tecnologías y equipos para obtenerlos.

2.5.1. Técnicas

- Análisis de datos recolectados de campo como: altitud de la localidad muestreada, parámetros físicos-químicos del suelo, cultivos asociados, antecedentes de las parcelas de sachá inchi, etc.

- Observacional como: identificación de las localidades que siembran sachá inchi, la cual sirvió como lugar de muestreo.

2.5.2. Instrumentos

- Ficha de diagnóstico de cada provincia
- Cuaderno de notas
- Archivo de datos

2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar (D.C.A). El experimento consistió en 12 tratamientos y 5 repeticiones, cada una representando una configuración experimental (planta Sacha inchi), 60 unidades en total. Todos los datos fueron agrupados en una hoja de cálculo de Excel, posteriormente fueron procesados y analizados usando Análisis de Varianza (ANVA) y Prueba de Comparación de Medias (Tukey, $P < 0.05$). Para realizar este análisis se utilizó Info Stat (versión 2012e; Córdoba, Argentina).

2.6.1. Tratamientos en estudio

Tabla 2
Tratamientos en estudio.

PROVINCIAS	LOCALIDADES	TRATAMIENTOS
LAMAS	Palmiche	T1
	Morillo	T2
	Pampamonte	T3
DORADO	Santa Cruz	T4
	Santa Rosa	T5
	Barranquita	T6
SAN MARTÍN	Banda de Shilcayo	T7
	Bello Horizonte	T8
	Chazuta	T9
BELLAVISTA	Dos de Mayo	T10
	Barranca	T11
	Nuevo Progreso	T12

2.7. Materiales y métodos

2.7.1. Materiales

a. Materiales de campo

- Cooler.
- Palana.
- Machete.
- Bolsas herméticas.
- Costales.
- Rotulador.

- Ráfia.
- Cuaderno apunte.
- Cámara fotográfica.
- Etiquetas de plástico.

b. Materiales laboratorio

- Tamiz de 250 μm .
- Tamiz de 38 μm .
- Pipetas automáticas.
- Pissetas 50 ml.
- Matraz de Erlenmeyer 250 ml.
- Vaso de precipitado 500 ml.
- Láminas porta y cubre objetos.
- Placas Petri.
- Tubos de ensayo de 50 ml.
- Gradilla.
- Espátula.
- Alcohol 96%.
- Tubos falcon 45 ml.
- Azúcar.
- Agua destilada.
- Luna de reloj.
- Contómetro.
- Papel toalla.
- Pinzas, punzones.
- Bisturí.
- Plumón indeleble.
- Tijeras.
- Guantes quirúrgicos.
- Cinta masking tape

c. Equipos

- Balanza analítica.
- Centrifuga.
- Baño maría.
- Autoclave.
- Microscopio electrónico.
- Estereomicroscopio
- Refrigeradora.

d. Reactivos

- PVLG.
- PVLG + Melzer.
- Tinta Parker 5,7%.
- Agua destilada estéril.
- Lacto glicerol.
- Hidróxido de potasio.

2.7.2. Métodos

2.7.2.1. Ubicación y Caracterización de la zona de estudio

El área de estudio abarcó las Provincias de Lamas, El Dorado, San Martín y Bellavista, todas pertenecientes a la región San Martín (Figura 1). En cada provincia se seleccionó 03 localidades productoras de sacha inchi, y dentro de cada localidad una parcela. Las parcelas seleccionadas fueron geo referenciadas y caracterizadas (Figura 01 y Tabla 3).

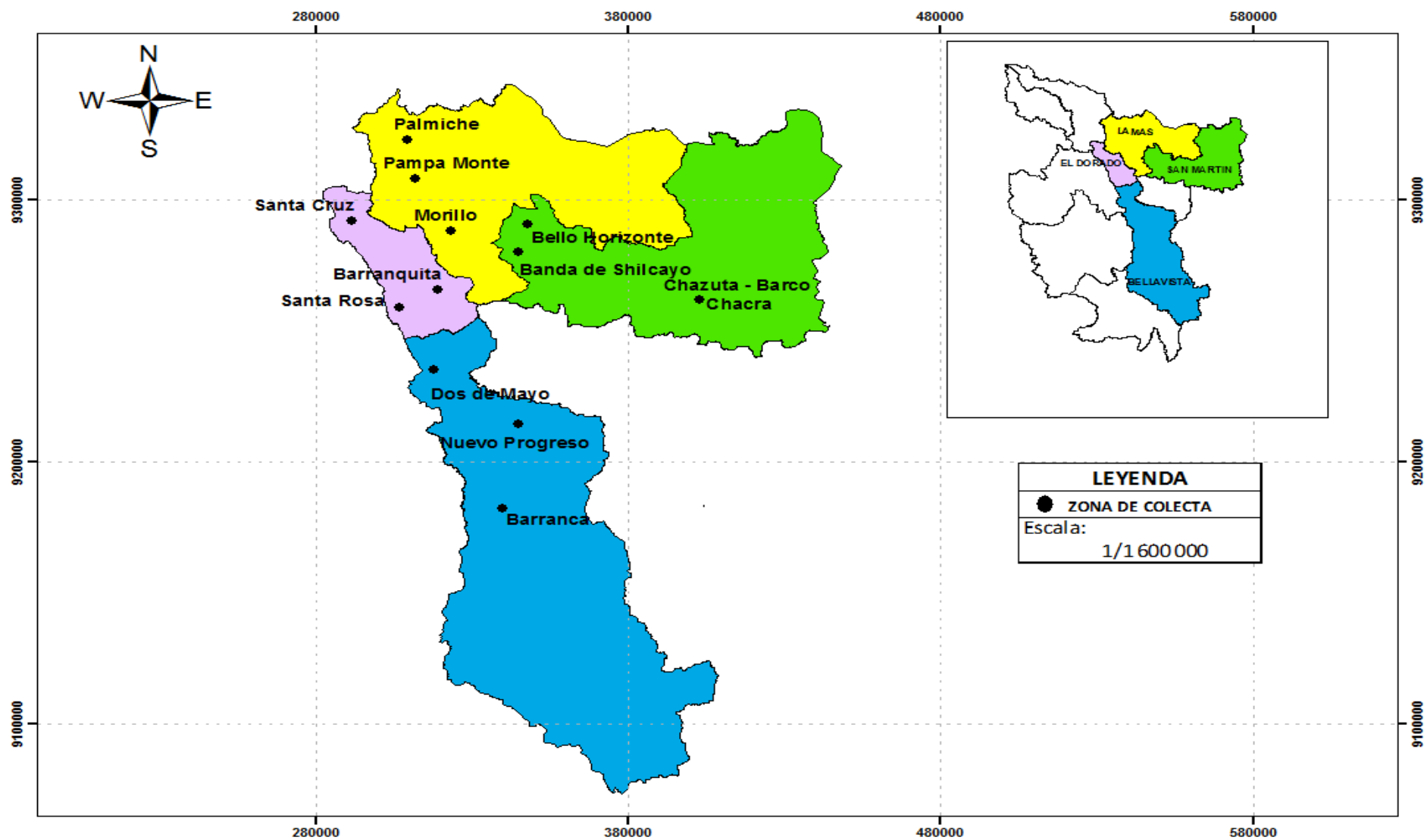


Figura 1: Mapa georreferencial de la ubicación de las cuatro provincias y 12 localidades de la zona de colecta en la región San Martín.

Tabla 3

Ubicación geográfica y características de las parcelas en estudio.

Provincias	Localidades	Coordenadas X/Y	Altitud (msnmm)	Área (ha.)	Edad	Antecedentes	Sistema de Instalación
LAMAS	Palmiche	323049 / 9299580	858	1,25	8 meses	Maíz, Frijol	Tradicional
	Pampamonte	324138 / 9296795	505	0,50	7 años	Maíz, Frijol	Tutor Vivo
	Morillo	325318 / 9293852	520	0,25	8 meses	Purma	Tradicional
EL DORADO	Santa Cruz	308197 / 9268560	436	0,25	3 años	Maíz, Frijol	Tutor Vivo
	Santa Rosa	319995 / 9255750	298	1,25	1 años	Maíz, Frijol	Espaldera
	Barranquita	323733 / 9254839	321	0,25	4 años	Maíz, Frijol	Tradicional
SAN MARTIN	Bello Horizonte	356328 / 9278282	321	0,25	2 años	Pastizal	Espaldera
	Banda de Shilcayo	322625 / 9253462	265	0,75	2 años	Maíz, Frijol	Espaldera
	Chazuta	377202 / 9274203	203	1,00	8 meses	Maíz, Frijol	Tradicional
BELLAVISTA	Nuevo Progreso	348230 / 9208235	262	1,00	1 año	Montaña	Espaldera
	Barranca	342302 / 9194909	307	1,00	8 meses	Maíz	Espaldera
	Dos de Mayo	330207 / 9248013	298	1,25	8 meses	Purma	Tradicional

2.7.2.2. Implementación y conducción del experimento

2.7.2.3. Área de trabajo

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM) de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín; ubicado en el distrito de Morales, Provincia y Departamento de San Martín. A continuación, se detalla características la ubicación política y geográfica del área de trabajo:



Figura 2: Cuantificación HMA, interior del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM).

A) Ubicación Política

Distrito : Morales
Provincia : San Martín
Departamento : San Martín

B) Ubicación Geográfica

Latitud Sur : 06°35'28"
Longitud Oeste : 76°18'47"
Altitud : 230 m.s.n.m.

2.8. Actividades realizadas

– Colecta y codificación de muestras biológicas.

Fueron colectadas muestra biológicas (suelo rizosférico y biomasa radicular) de un total de 60 plantas de sachá inchi (05 plantas / 03 parcelas / 04 provincia); seleccionadas aleatoriamente entre los meses de marzo - mayo del 2016. De cada planta, se colectaron aproximadamente 100 g de biomasa radicular y 250 g de suelos rizosférico en 03 puntos equidistantes, entre 20-30 cm, de distancia del tallo principal y entre 0-15 cm, de profundidad (Robles *et al.*, 2008). Las sub-muestras colectadas de los 03 puntos equidistantes fueron mezcladas formando una sola muestra compuesta por planta. Estas muestras, fueron debidamente codificadas y colocadas en bolsas de polietileno para ser transportadas al laboratorio para su análisis posterior (Figura 3).



Figura 3: Proceso de colecta del suelo rizosférico de las plantas de Sacha inchi. **A:** muestreo suelo, **B:** Codificación planta, **C:** suelo rizosférico y **D:** Transporte al invernadero de la facultad de ciencias agrarias.

– Secado, Selección y Conservación de muestras biológicas.

Se procedió a secar a temperatura ambiente dentro de las instalaciones del vivero de multiplicación de hongos micorrizas arbusculares (HMA). Una fracción de la muestra

de suelo rizosférico de cada planta fue separada y colocada en bolsas con cierre hermético ziploc y almacenada entre 4 a 6 °C para su posterior análisis y la otra fracción fue enviada para su análisis físico-químico al Laboratorio de suelos, Aguas y foliares de la facultad de ciencias Agrarias – UNSM, Tarapoto. Las raíces colectadas fueron lavadas con abundante agua para desprender partículas de suelo y otros residuos adheridos. Posteriormente se seleccionaron únicamente raíces secundarias y terciarias (más finas), las cuales fueron colocadas en tubos falcon de 50 ml. con una solución alcohol (70%) para ser almacenadas entre 4 a 6 °C para su posterior análisis (Figura 4).

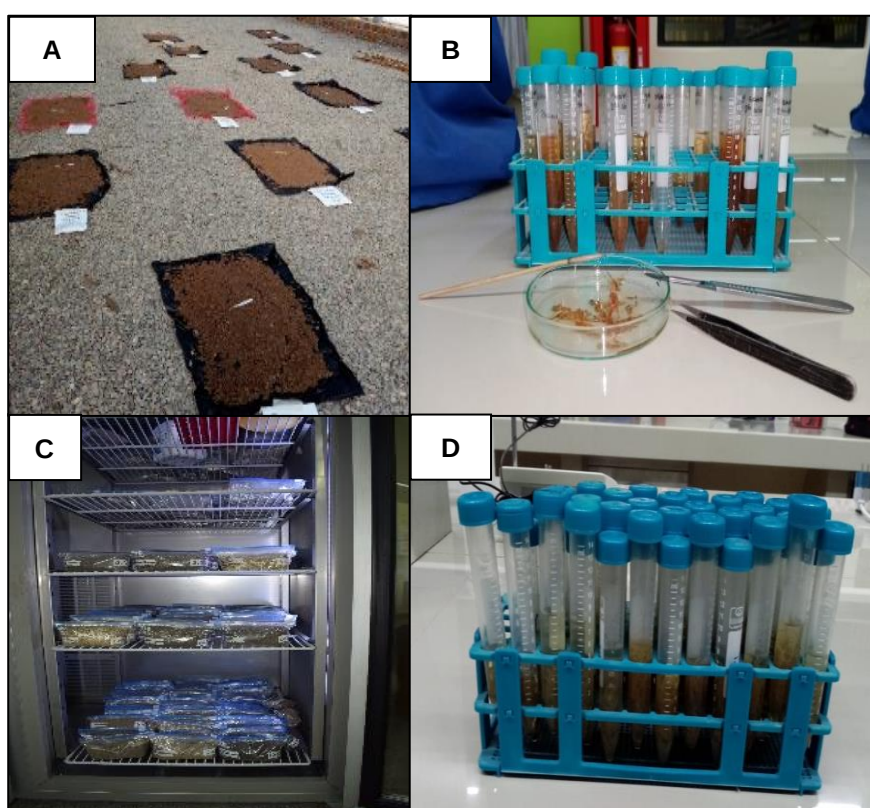


Figura 4: A: Secado, B: Cortes de 2 cm raíces secundarias C: Refrigerado 4 a 6 °C suelo rizosférico para análisis Físico químico y Biológico, D: Conservación de raíces (secundarias y terciarias).

– Propiedades físico- químicas del suelo

Para conocer las propiedades del suelo se realizó el análisis físico-químico correspondiente a las 60 muestras colectadas y homogenizadas de 04 provincias en estudio. Se determinó la clase textural, porcentaje de materia orgánica (MO), concentración de iones hidrógeno, pH y niveles de fósforo y potasio.

– Aislamiento de esporas HMA

Se modificaron y utilizaron la decantación húmeda y el tamizado (Gerdemann y Nicholson, 1963), seguido de centrifugación al 20% de sacarosa y al 60% de Sieverding (1984) para estimar la densidad de esporas en 10 g de suelo seco, el procedimiento fue la siguiente:

- Se pesaron 10 g de suelo y se suspendieron en 2 litros de agua.
- La suspensión se agitó mecánicamente durante 10 segundos y se dejó reposar 20 segundos, para eliminar partículas grandes por sedimentación.
- Seguidamente, la suspensión se pasó por una serie de tamices de 250 y 38 micras, lavando con abundante agua.
- Después, se agregó agua al decantado y se repitió 4 veces más siguiendo los pasos anteriores.
- Luego, los tamices obtenidos de pozos de 38 micrones que contenían esporas se transfirieron a tubos Falcon de 50 ml que contenían gradientes de sacarosa al 20% y 60% (20 ml y 10 ml, respectivamente), donde se observó la acumulación de concentraciones máximas. Ubicado en la parte inferior del tubo.
- Inmediatamente, los tubos falcon (50 ml) se colocaron en la centrifuga (los pares de tubos de manera opuesta para el equilibrio del rotor) llevando a 3500 rpm por 5 minutos para precipitar partículas de suelo y suspender las esporas hasta la interface entre los dos azúcares.
- Finalmente, el tubo Falcon se retiró cuidadosamente de la centrífuga, el sobrenadante se transfirió a un tamiz de 38 micrones, se lavó con agua para eliminar la sacarosa, dejando solo esporas, y se colocó en una placa Petri para la observación en el Estereoscopio para cada cuenta. (Figura 5).

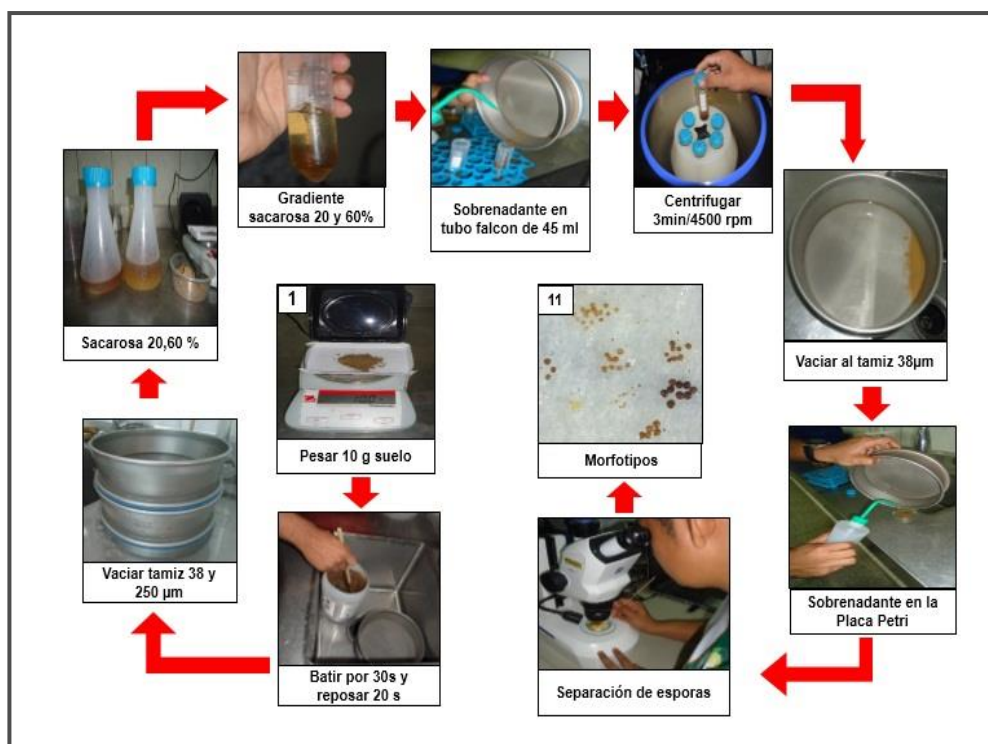


Figura 5: Procedimiento de aislamiento de esporas de hongos micorrizicos arbusculares en 10 g de suelo.

– Cuantificación de esporas e identificación de Morfo-especies

El registro fotográfico de las morfo-especies se realizó en un microscopio trinocular con el software Motic Plus 2.0; con los objetivos 40x y 100x. Para la identificación taxonómica de las morfo-especies se consideró parámetros morfológicos como color (carta de colores del INVAM), tamaño, forma, posición de hifa, ornamentación etc. Todos estos parámetros morfológicos basándose en la clasificación de especies propuesta por Redecker, et al., (2013). Adicionalmente, se consultó las claves taxonómicas disponibles en los sitios web INVAM: (International Collection Of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi). Disponible en http://invam.caf.wwu.edu/Myc_info/Taxonomy/Species.htm; Gerdemann, J. W. & T. H. Nicolson. 1963. Spores of a mycorrhizal Endogone species extracted from the soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc. 46: 235-244; Blaszkowski, J. <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/>; Schenk, N. C. & Y. Perez. 1990. Manual of identification of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. INVAM, University of Florida, Gainesville. Además, se contó con la ayuda de la Dra. Laura Hernández Cuevas, Dr. Santos Carballar Hernández, especialistas en sistemática de HMA (México), y bajo la supervisión del Dr. Fritz Oehl taxónomo mundialmente reconocido. Figura 6.

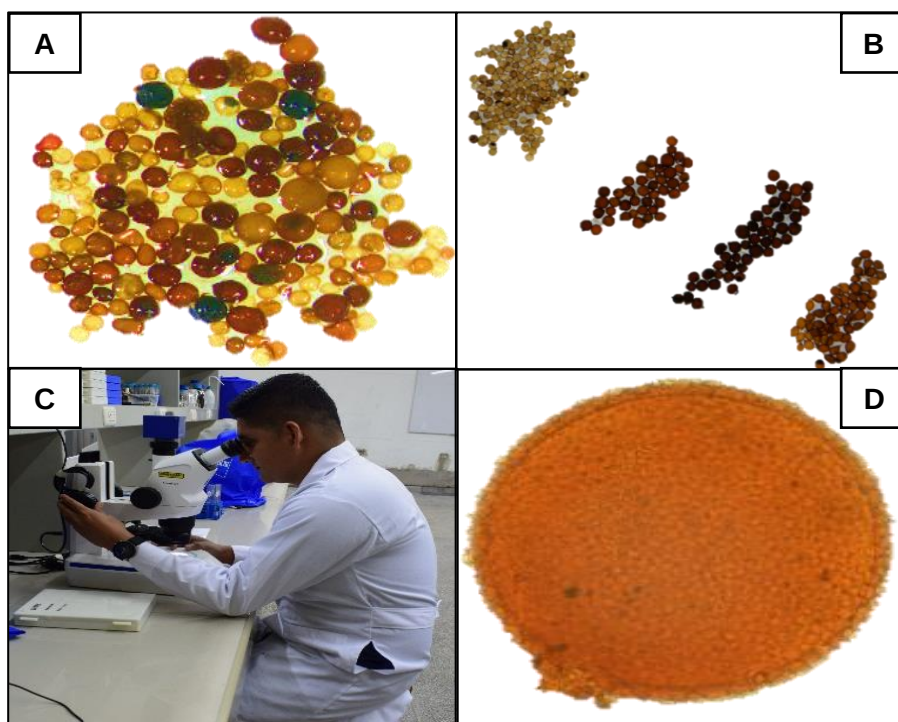


Figura 6: Conteo de esporas HMA, **A y B:** Esporas HMA y selección de morfo especies, **C y D:** Montaje e Identificación especie HMA en Pvlg y Pvlg + Melzer.

– Tinción de Raíces.

La tinción se realizó en raíces jóvenes de Sacha inchi (secundarias y terciarias) con modificaciones de la técnica descrita por Phillips y Hayman (1970). El procedimiento de tinción fue el siguiente:

- Las raíces se cortaron en segmentos de 1 cm y se colocaron en tubos de 50 ml en una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% hasta cubrir la muestra.
- Posteriormente, las raíces se colocaron en un baño de agua a 90 ° C durante 60 minutos para eliminar el contenido citoplasmático y limpiar el tejido cortical. Luego se retiraron y se agregaron 20 volúmenes de peróxido de hidrógeno en la misma proporción de KOH a temperatura ambiente durante 1 minuto para aclarar el pigmento de la raíz.
- Luego, se procedió a lavar las raíces 3 veces con agua corriente y se dejaron en reposo hasta eliminar el contenido líquido.
- Seguidamente, se sumergieron en tinta Parker al 5,7% durante 10 minutos a temperatura ambiente.
- Paralelamente, se llevaron las muestras al baño María a 90 °C durante 10 minutos.
- Finalmente, se enjuagaron tres veces con agua corriente y se añadió lactoglicerol para conservar las muestras. (Figura 7).

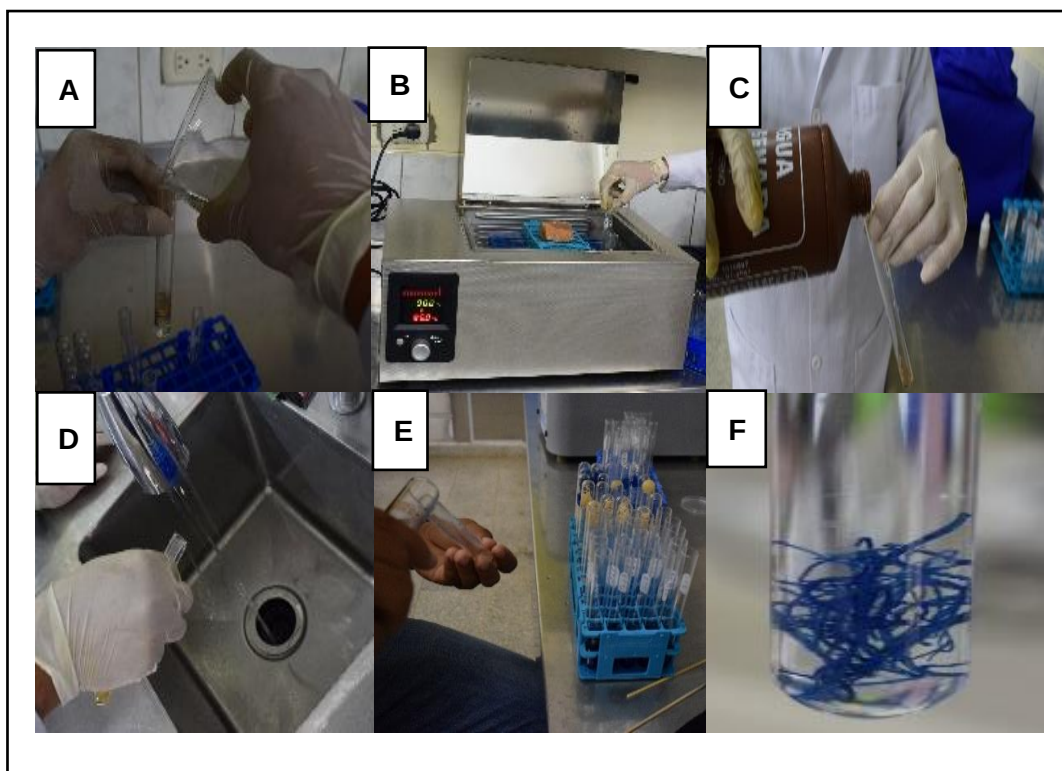


Figura 7: Proceso de tinción de raíces en plántulas de café. **A:** Adición de KOH (10%) a tubos de ensayo conteniendo raíces, **B:** Muestras colocadas en baño maría a 90 °C, **C:** Adición de agua oxigenada de 20 volúmenes, **D:** Lavado y enjuague con agua corriente, **E:** Reposo para eliminar el contenido líquido, **F:** Adición de tinta Parker 5,7% a las raíces.

– **Estimación del grado de colonización micorrízica.**

La colonización micorrízica fue calculado utilizando la metodología propuesta por (Trouvelot *et al.*, 1986). Para cada muestra se montaron 20 segmentos de raíces finas teñidas de aproximadamente 1-2 cm de longitud estas fueron montados en paralelo sobre laminas portaobjetos (20 segmentos de raíz/porta-objetos) y se observaron a un aumento de 40x y 100x. A cada segmento de raíz se asignó una de seis categorías (0-5) de acuerdo a la colonización micorrízica que van desde 0% a > 95% de micorrización (Figura 8).

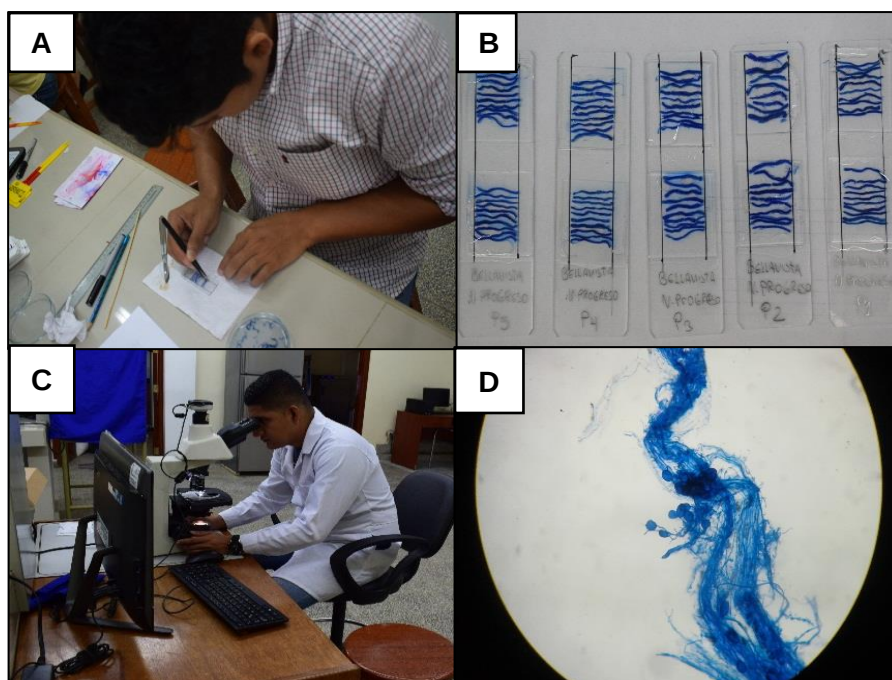


Figura 8: Proceso de determinación del porcentaje (%) de colonización en el cultivo de sachá inchi. **A y B:** Montaje de raicillas teñidas en láminas porta objetos, **C:** Observación en el microscopio a aumento 40 x de estructuras intra radicales, **D:** Presencia de Hifas, vesículas y arbusculos en raíces teñidas.

2.9. Variables evaluadas

2.9.1. Variables del suelo

2.9.1.1. Parámetros del suelo

Se realizó, una prueba de comparación de relaciones entre las 12 localidades de sachá inchi. Evaluando la posible relación que exista entre la comunidad de HMA y las propiedades físicas y químicas del suelo mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, de esta manera se exploró la variabilidad y similitudes entre los suelos y la composición de las comunidades de HMA entre las parcelas.

2.9.2. Variables biológicas

2.9.2.1. Densidad de esporas HMA

Fue cuantificada mediante la observación visual de las esporas presentes por localidad. Con ayuda de un estereoscopio trinocular (5x), incorporado un accesorio de aumento de 2x, obteniéndose un aumento de 7x para determinar la densidad de esporas.

2.9.2.2. Riqueza de especies HMA

Se tuvo en cuenta lo siguientes características: forma, tamaño, color, textura, ornamentaciones, características de los estratos internos y externos, número de estratos, reacción al reactivo de Melzer (tinción de estrato), sáculos, cicatriz, etc., de cada espora de HMA encontrada por localidad, para después, obtener la cantidad de especies obtenidas por localidad. Todo esto con el registro fotográfico de las morfoespecies, realizado en un microscopio trinocular con el software MOTIC PLUS 2.0; con los objetivos 40x y 100x.

2.9.2.3. Taxonomía de HMA identificados

La taxonomía de especies se realizó mediante la colaboración con taxónomos internacionales, que cuentan con gran experiencia en el estudio de hongos micorrizicos arbusculares, fue el caso de la ayuda proporcionada por él, Dr. Santos Carballar Hernández (Laboratorio de Suelos de la Unidad de Oaxaca, México), la Dra. Laura Verónica Hernández Cuevas (Laboratorio de Micorrizas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, México), y el Dr. Fritz Oehl (División competente para plantas y productos eco toxicológicos de plantas, Wädenswil, Suiza), gracias al proyecto de investigación: Identificación y validación de especies de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) nativos eficientes como Bioprotectores y Biofertilizantes en los cultivos de café (*Coffea arabica* L.) y Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la región San Martin, que se ejecutó en el LBGM.

2.9.3. Variables ecológicas

2.9.3.1. Parámetros ecológicos

Las medidas ecológicas para describir la estructura de la comunidad de HMA incluyen: Densidad de esporas, riqueza de especies, índice de diversidad (Shannon), índice de Simpson (D) y Equitatividad (Pielov).

Tabla 4*Medidas de diversidad usadas para describir la comunidad de HMA.*

Densidad de esporas (DE)	Número de esporas en 10 g de suelo
Riqueza de especies (RE)	Número de especies identificadas por muestra de suelo
Índice de Shannon-Wiener (H')	$H' = -\sum P_i \ln P_i$
Índice de Simpson (D)	$D = \sum [n_i (n_i - 1) / N (N - 1)]$
Índice de Pielou o Equitatividad (E)	$E = \frac{H}{H' \text{ máx.}}$

P_i es la abundancia relativa de cada especie y es calculado por la siguiente fórmula: $P_i = n_i / N$, donde n_i es el número de esporas de una especie y N es el número total de esporas. H' y es calculada por la siguiente fórmula: $H' \text{ máx.} = \ln S$, donde S es el número total de especies identificadas.

2.9.4. Descripción morfológica de HMA identificadas

La descripción morfológica, comprende los aspectos detallados de cada espora encontrada por localidad, y su relación con las especies HMA identificadas.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variables del suelo

3.1.1. Parámetros del suelo

El análisis de los parámetros fisicoquímicos se realizó en cada una de las muestras de suelo de 12 localidades correspondientes a las cuatro provincias estudiadas: pH, textura, materia orgánica, fósforo extraíble, nitrógeno y potasio. El análisis se realizó en el laboratorio de suelos, aguas y foliares de la facultad de ciencias Agrarias – UNSM, Tarapoto, donde se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 5).

La Tabla 5 muestra el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) realizado para los parámetros: pH, %Materia orgánica, %Nitrógeno, Fósforo disponible (ppm) y Potasio disponible (ppm); en el parámetro pH los resultados fueron significativos en las localidades de: Pampamonte – Lamas, Santa Cruz y Barranquita ambos de la provincia de El Dorado, Nuevo Progreso y Barranca ambos de Bellavista, todas estas localidades con pH alcalino (rango mayor a 8,00), en contraste las localidades Banda de Shilcayo y Chazuta ambas de San Martín mostraron un pH ácido (7,13 y 6,4 respectivamente). En cambio, para el porcentaje de materia orgánica, el porcentaje de nitrógeno y el contenido de fósforo no se encontraron diferencias estadísticas entre sí, en todas estas localidades las medias fueron iguales. Para la cantidad de potasio disponible en el suelo, el mayor índice se dio en la localidad Santa Cruz – El Dorado con 315,75 ppm, siendo este muy alto en comparación con los demás tratamientos quienes no mostraron diferencias significativas entre sí.

Tabla 5

Parámetros físicos y químicos de las localidades de estudio.

Análisis Físico - Mecánico			Elementos Disponibles				
Provincias	Sector	Clase Textural (**)	pH	% M.O	% N	P (ppm)	K (ppm)
Lamas	Palmiche	Fr. Arci. Ar	7,88 ab	2,30 a	0,12 a	15,23 a	188,43bcde
	Pampamonte	Fr.Arci. Ar	8,03 a	2,70 a	0,15 a	16,73 a	228,01ab
	Morillo	Fr. Arci. Ar	7,62b	2,96 a	0,15 a	15,59 a	150,53cde
El Dorado	Santa Cruz	Fr. Arci. Ar	8,10 a	2,66 a	0,15 a	15,16 a	315,75 a
	Santa Rosa	Fr.Arci. Ar	7,86ab	2,40 a	0,14 a	14,78 a	224,81bcde
	Barranquita	Fr. Arci	8,01 a	2,71 a	0,15 a	12,39 a	235,81bcd
San Martín	Bello Horizonte	Fr. Arci. Ar	6,61cd	2,90 a	0,16 a	13,19 a	163,51de
	Banda Shilcayo	Fr. Arci. Ar	7,13c	2,60 a	0,15 a	15,15 a	173,98bcde
	Chazuta	Fr. Arci	6,40d	3,16 a	0,16 a	16,31 a	120,17e
	Nuevo Progreso	Arci	8,10 a	2,90 a	0,16 a	15,53 a	241,45bc
Bellavista	Barranca	Fr Arci	8,17 a	3,14 a	0,16 a	15,61 a	224,95bcd
	2 de mayo	Fr. Arci	7,90 ab	2,25 a	0,12ab	17,54 a	201,73bcde

Prueba de Tukey ($P < 0.05$), para el análisis físico – químico del suelo, en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín. Donde las letras distintas indican diferencias estadísticas entre sí. Fuente: Laboratorio de Suelos, FCA/UNSM-T.

Es muy conocido que los HMA forman asociaciones simbióticas con la mayoría de las plantas, estando presentes en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Smith & Read 2008). Ellos colonizan el sistema de raíces que beneficia el crecimiento de las plantas al aumentar la absorción de nutrientes y agua (Koide & Mosse 2004), además de proteger a sus hospedantes contra el estrés biótico y abiótico (Pozo *et al.*, 2015). A su vez, los hongos reciben compuestos de carbono de la fotosíntesis. Los HMA también mejora la estructura del suelo (Leifheit *et al.*, 2014) y la diversidad de plantas al modificar la estructura de la comunidad de plantas (Vogelsang *et al.*, 2006).

Estos hongos subterráneos desempeñan un papel clave en los ecosistemas terrestres, ya que regulan los ciclos de nutrientes, especialmente el carbono, además de ser influyentes en la estructura del suelo y la multifuncionalidad del ecosistema; al aportar hasta un 80% del total de N y P en la planta (van der Heijden *et al.*, 2015).

Se ha demostrado que el efecto beneficioso sobre el contenido de nutrientes de las plantas depende de la diversidad de hongos, lo cual, cuando se usa un inóculo micorrizico, el efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas depende en gran medida de su composición, y una combinación de hongos micorrízicos es más efectiva que un inóculo mono específico (Sharma *et al.*, 2009; Gogoi & Singh, 2011). Además, está bien establecido que la colonización por HMA se produce principalmente en niveles bajos del estado nutricional de las plantas o en niveles bajos de fertilidad del suelo (principalmente P) (Smith & Read 2008).

Según la Tabla 5, se reporta que tanto el nivel de pH y el contenido de K intercambiable, hubo diferencias estadísticas significativas entre las doce localidades muestreadas, lo que podría haber influido en la posible simbiosis que habrían realizado los HMA con las plantas de *sacha inchi*, en condiciones de campo, y por ende haber obtenido una fuente de inóculo con diferencias biológicas entre las doce localidades.

Trouvelot *et al.*, (2016), mencionan que, los elementos químicos secundarios como el potasio (K), el magnesio (Mg), el zinc (Zn) y el boro (B) son importantes para la fertilización, la cual está estrechamente relacionada por las condiciones de pH, además que, la deficiencia de potasio se produce mayormente en suelos con alto contenido de Ca o Mg, así como en regiones de alta precipitación. Otros elementos químicos, como el hierro (Fe), manganeso (Mn) y azufre (S), aunque son muy necesarios para un crecimiento y desarrollo armonioso, rara vez son deficientes en los suelos (Christensen, 2000).

De hecho, se ha informado que la fertilización con nitrógeno disminuyó la absorción de algunos elementos como B y Mn (Jackson, 2014). En cambio, según los resultados obtenidos el contenido de N y P intercambiable, no se registraron diferencias estadísticas significativas entre las doce localidades, lo cual se sabe que la principal forma de P absorbida por las plantas es el Pi (fosfato inorgánico) soluble, (HO₄P⁻²), que resulta de la lenta descomposición de las formas orgánicas transformadas por los microorganismos del suelo.

La disponibilidad de Pi es generalmente baja debido a su difusión muy lenta a través de la solución suelo (Trouvelot *et al.*, 2016). Se debe tener en cuenta que, aunque la captación de P no depende del pH o la textura del suelo, la colonización

por HMA hacia las plantas, podría reducirse para valores de pH que oscilan entre 5 y 5,5 (Schreiner, 2005). La captación de nitrógeno depende del tipo de suelo y la rotación de la materia orgánica, además ahora se establece que la micorriza arbuscular puede desempeñar un papel importante en la captación de N (Smith *et al.*, 2010), reportándose que, además de la absorción de N inorgánico, los HMA pueden extraer cantidades sustanciales de N de los materiales orgánicos en descomposición (Hodge & Fitter 2010), siendo este el que representa una gran proporción del N total del suelo.

En conclusión, cada elemento disponible en el análisis de suelo realizado dependió en cierto grado con la riqueza biológica presente en cada localidad muestreada. Por último, Bernaola *et al.*, (2018) menciona que los efectos de los HMA pueden depender de la humedad del suelo, el nutriente inorgánico disponible en el suelo, el pH, las especies de HMA y las especies de plantas hospedadoras. Junto con estos factores, varias prácticas de manejo agrícola afectan el ambiente del suelo y, por lo tanto, la abundancia y actividad de las micorrizas.

Otro parámetro evaluado fue, realizar un análisis multivariado (análisis de una variable) de las condiciones ambientales (humedad, precipitación, longitud y altitud), físico y químicas del suelo (conductividad eléctrica, pH, K) propias de cada zona relacionada con la riqueza biológica obtenida por cada localidad, la cual, según la Figura 9, se observa que las muestras obtenidas de la localidad de Palmiche – Lamas están muy relacionadas con la altitud (teniendo tres plantas relacionadas) a la cual se encuentran, lo que pudo haber influenciado para obtener una fuente de inóculo distinta a las demás, en contraste los demás parámetros no fueron significativos entre sí con las doce localidades muestreadas por encontrarse cercanas al eje central de la matriz.

Tres repeticiones de Palmiche están estrechamente correlacionadas con el indicador altitud, ya que se inclinan por ese lado. En cambio, una repetición de mayo esta correlacionada con la conductividad eléctrica, y por último, las demás localidades no tienen correlación alguna con los indicadores ya que, están siendo concéntricas.

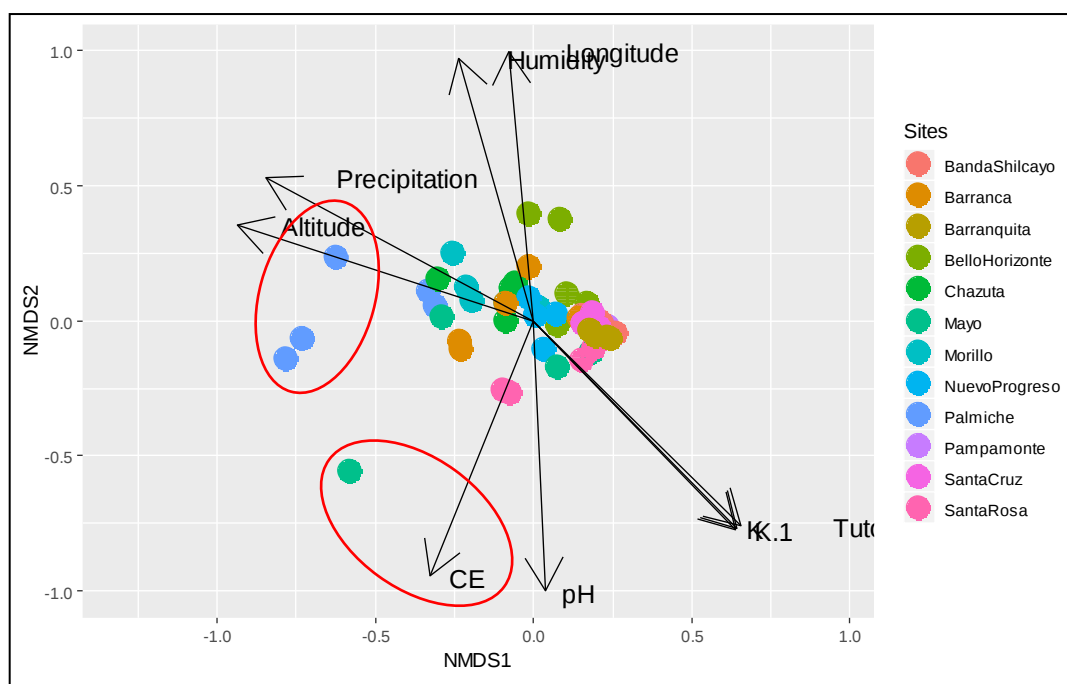


Figura 9: Análisis multivariado de las condiciones ambientales, físico y químicas del suelo, en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín. Donde cada punto representa una planta teniendo cinco plantas por localidad.

3.2. Variables biológicas

3.2.1. Porcentaje de Colonización micorrízica

La tabla 6 y la figura 10 muestran el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey ($p < 0,05$) respectivamente para el porcentaje de colonización micorrízica (%) en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), datos transformados a $\text{Arcseno}\sqrt{X}$.

Tabla 6

Análisis de varianza para el porcentaje de colonización micelial, hifa, vesícula y arbusculo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
PROVINCIAS	0,31	3	0,1	9,1	<0,0001**
LOCALIDADES	0,82	8	0,1	18,12	<0,0001**
Error	0,26	48	0,01		
Total	1,39	59			
**= Altamente significativo					
$R^2 = 81\%$		C.V = 4,25%		$\bar{X} = 55,56\%$	

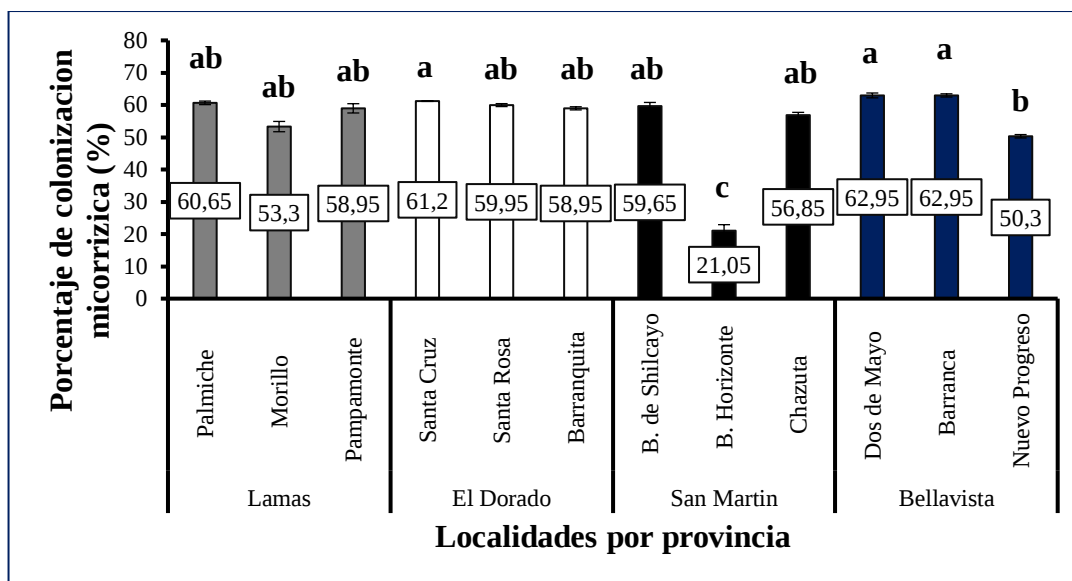


Figura 10: Prueba de Tukey ($P < 0.05$), para el porcentaje de colonización micelial, hifas, vesículas y arbusculos, en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín.

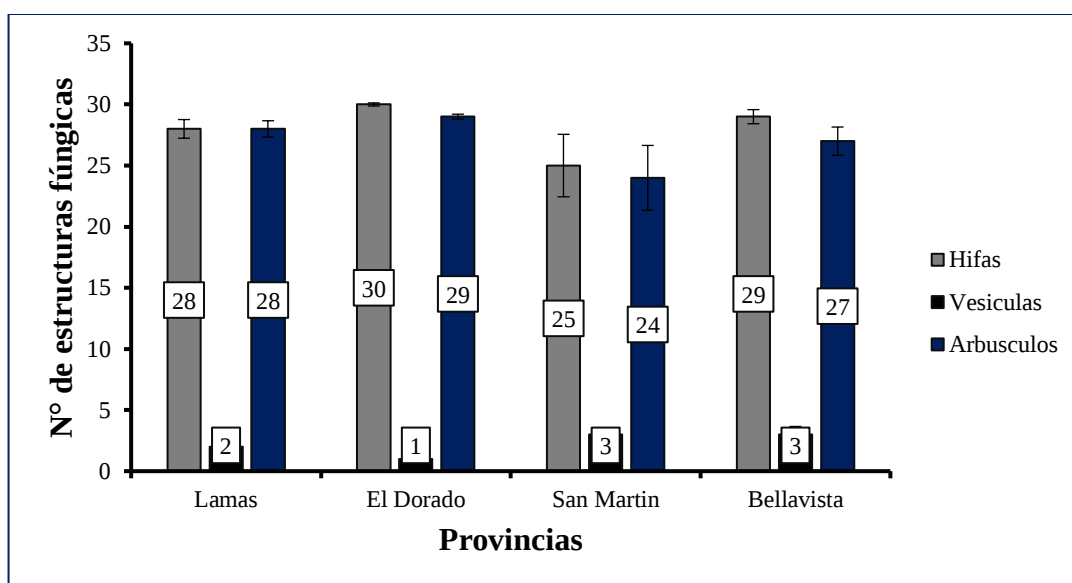


Figura 11: Número de estructuras fúngicas de HMA de cuatro provincias de la región San Martín.

El análisis de varianza (Tabla 6) del porcentaje de colonización micorrízica en raíces de plantas de sachu inchi en condiciones de campo entre los 12 tratamientos, indica que existen diferencias altamente significativas tanto para las provincias como para las localidades, mostrando una media de 55,56% con un coeficiente de variabilidad de 4,25% y un coeficiente de determinación (R^2) de 81%, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada, 1982.

El análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 11) muestra que los mejores tratamientos fueron el T10 (Dos de Mayo – Bellavista) y el T11 (Barranca – Bellavista) ambos con 62,95% de colonización micorrízica, seguido por el tratamiento T4 (Santa Cruz – El Dorado) con un porcentaje de colonización de 61,2% estadísticamente iguales y por el tratamiento T12 (Nuevo Progreso – Bellavista) con un porcentaje de colonización de 50,3%.

Los demás tratamientos no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí, a excepción del tratamiento T8 (Bello Horizonte – San Martín) quien mostró diferencias estadísticas significativas, siendo el tratamiento con menor porcentaje de colonización con 21,05%. Además, la figura 12 muestra el número de estructuras fúngicas de HMA, como hifas, vesículas y arbusculos que estuvieron colonizando raíces de *sacha inchi* colectadas de las cuatro provincias de la región (mostrando el total de estructuras presentes en las tres localidades por provincia), siendo la provincia El Dorado la que presentó mayor número de estructuras fúngicas en conjunto, seguido por las provincias de Bellavista y Lamas, y por último la provincia de San Martín, cabe recalcar que la diferencia de estructuras fúngicas presentes en las cuatro provincias no fue significativa, siendo esto un indicativo de que los HMA si colonizan las raíces de *sacha inchi* en condiciones de campo, encontrándose en estrecha interacción para el beneficio del cultivo.

Todos los hongos capaces de establecer una simbiosis micorrízica arbuscular se agrupan en el filo Glomeromycota (Schüßler et al. 2001). Estos resultados concuerdan con trabajos de investigación realizados en la región, quienes demostraron un alto potencial colonizador de los HMA en café (Del Águila, 2016) con porcentajes de colonización radicular que oscilan entre el 26 y 30%, siendo predominante los suelos de las provincias de Lamas, Moyobamba y El Dorado.

Así mismo, Medina, (2017) reportó que los HMA aislados de los suelos de la provincia de Lamas también desarrollaron simbiosis micorrízica con plantas de café, presentando un 26,4% de colonización. Investigadores como Smith & Read, (2008), mencionan que la colonización micorrízica arbuscular puede iniciarse a partir de tres formas de propágulos diferentes: esporas, micelio intraradical de las raíces de micorriza y micelio extraradical (MER). Varios estudios han sugerido una capacidad de colonización diferente entre estas tres formas de propágulo, así como una

diferenciación en el tipo de propágulo formado con mayor frecuencia por diferentes taxones HMA (Klironomos & Hart 2002). Estudios que se enfocan en diferentes formas de propágulos han llegado a la conclusión de que difieren en términos de la diversidad de HMA que albergan: algunos filotipos o incluso familias están mejor representados en algunas formas de propágulos que en otros (Varela-Cervero *et al.*, 2015).

Además, la dependencia de las plantas asociadas a la micorriza arbuscular para la absorción de los nutrientes, podría depender de la arquitectura de la raíz, principalmente de los pelos radicales, los HMA son altamente beneficios al extender el volumen del suelo explorado mediante una red filamentosa de micelio que se une a las raíces de las plantas permitiendo de esta manera una absorción adecuada de agua y nutrientes poco móviles como el fosfato (Schreiner, 2005).

Por otro lado, hay estudios que mencionan que, la diversidad de hongos en las raíces de una planta puede facilitar la persistencia de simbioses de baja calidad, lo que resulta en un beneficio de crecimiento muy limitado para su hospedero (Hart *et al.*, 2012), puede que la colonización micorrízica haya sido mayor en algunas localidades que en otras (en condiciones de campo), pero existe la posibilidad de que estos simbioses no sean los más favorables para las plantas de *sacha inchi* (experimentación de adaptabilidad, en condiciones de vivero), si se cambia las condiciones propias de su medio.

Una vez que las plantas colonizan, los nutrientes pueden ser absorbidos a través de dos vías que podrían operar de manera independiente, la vía de captación de la raíz y la vía de la micorriza arbuscular que involucra el micelio fúngico extraradicular. El micelio fúngico aumenta el volumen explorable del suelo y, dado que las hifas individuales tienen diámetros comparables a los pelos radiculares, permiten el acceso a los poros del suelo que de otra manera hubieran sido inexplorables (Smith y Read 2008).

Carballar, (2009) obtuvo porcentajes de colonización que variaron de 30 a 78%, en donde no encontró diferencias significativas en los valores promedio de especies de *Agave* en México, a excepción de *Agave potatorum* quien presentó la colonización promedio más alta (69%). Se sabe que la colonización radicular está

relacionada a la familia de HMA que pertenecen, es así que la capacidad de colonización es muy variada, por ejemplo, los hongos de la familia Glomerales colonizan principalmente sistemas de raíces a partir de un fragmento hifal, mientras que la colonización de raíces por Diversisporales comienza a partir de esporas (Hart y Reader, 2002).

A nivel de familia, implica que los hongos de Diversisporales son colonizadores más lentos que los miembros de los Glomerales (Hart y Reader, 2002). Las diferencias en las estrategias de crecimiento entre estos hongos implican que el manejo agronómico del suelo puede tener un gran impacto en la diversidad de los HMA y, como consecuencia, en el rol que desempeñan dentro de un ecosistema. Klironomos & Hart, (2002), estudiaron las habilidades de ocho especies de HMA de cuatro géneros diferentes para colonizar raíces utilizando tres tipos diferentes de inóculo, demostrando que los aislamientos de *Glomus* y *Acaulospora* colonizaron con todos los tipos de inóculo testados, mientras que los aislamientos de *Gigaspora* y *Scutellospora* colonizaron principalmente con esporas y en un grado limitado con fragmentos de raíces.

Bernaola *et al.*, (2018), trabajaron con muestras de arroz recolectadas en múltiples ubicaciones durante varios años, las cuales fueron colonizadas por HMA, obteniendo un porcentaje de colonización radicular que osciló entre el 1,8% y el 61,4%, además, las estructuras fúngicas típicas de las simbiosis de HMA en las plantas, como hifas, vesículas y arbuscúlos, estaban presentes en todas las raíces de arroz seleccionadas en cada ubicación. Lo que demuestra el alto potencial micorrizico en estas plantas, siendo las estructuras más comunes: las hifas, que aparecieron en todas las muestras, observando pocos arbuscúlos porque estas estructuras se degradan rápidamente (Parniske, 2008); otra estructura abundante fueron las vesículas, recomendando que se trabaje con especies HMA nativas, ya que, la mayoría de las investigaciones sobre asociaciones con HMA involucran experimentos de laboratorio o invernadero, en los cuales las plantas se cultivan en suelo esterilizado, con especies particulares de HMA (micorrizas comerciales). Además, estos estudios ignoran la complejidad de las comunidades biológicas del suelo que podrían influir en el establecimiento de la simbiosis HMA y su impacto en la aptitud de la planta (Lekberg & Koide, 2005).

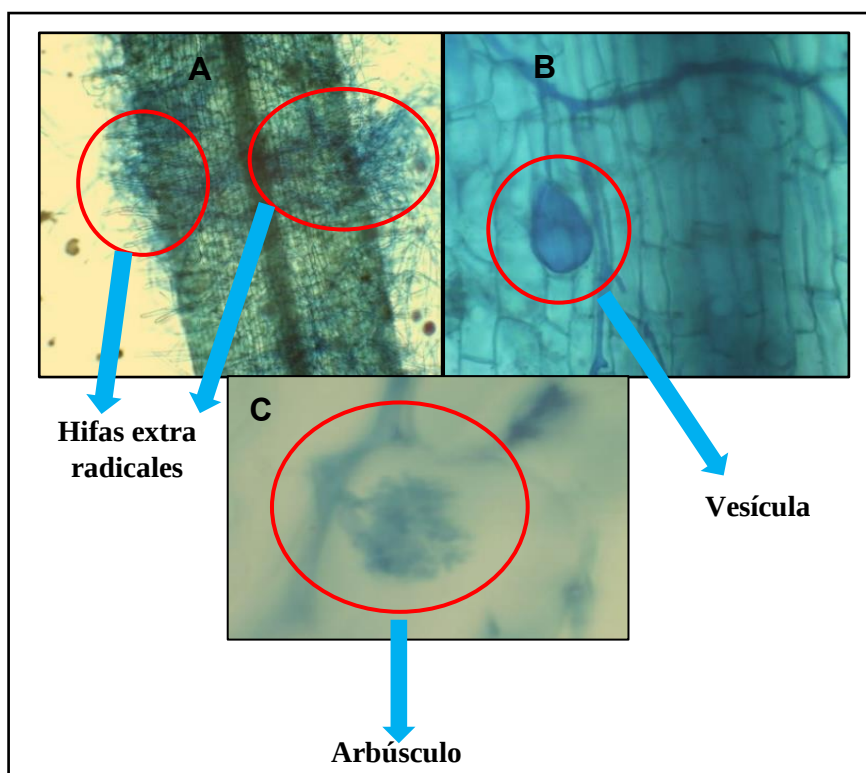


Figura 12: Estructuras fúngicas. **A:** Hifas, **B:** Vesícula y **C:** Arbúsculo.

3.2.2. Densidad de esporas

La tabla 7 y la figura 13 muestran el Análisis de Varianza con nivel de significancia al 0.10%, prueba de Tukey ($p < 0,10$) respectivamente para la densidad de esporas presentes en 10 g de suelo en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), datos transformados $\text{Log}(X)$.

Tabla 7

Análisis de varianza para la densidad de esporas, presentes en 10 g de suelo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
PROVINCIAS	0,01	3	0,0026	1,56	0,2119 ^{N.S}
LOCALIDADES	0,02	8	0,0028	1,66	0,1328 ^{N.S}
Error	0,08	48	0,0017		
Total	0,11	59			
N.S= No Significativo					
$R^2 = 27\%$		C.V= 37,73%		$\bar{X} = 21$ esporas/10 g de suelo	

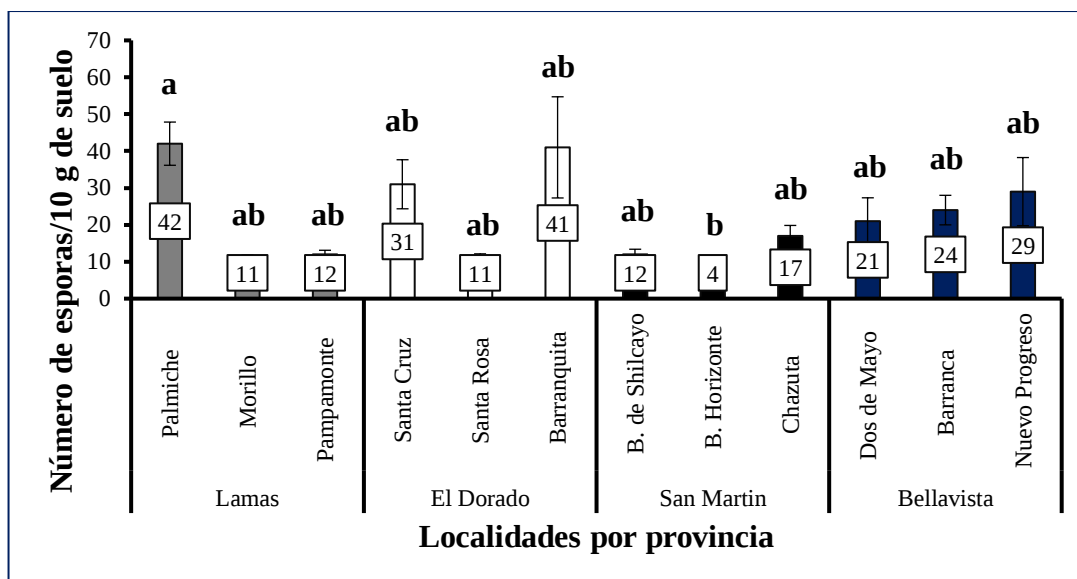


Figura 13: Prueba de Tukey ($P < 0.10$), para la densidad de esporas presentes en 10 g de suelo en sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

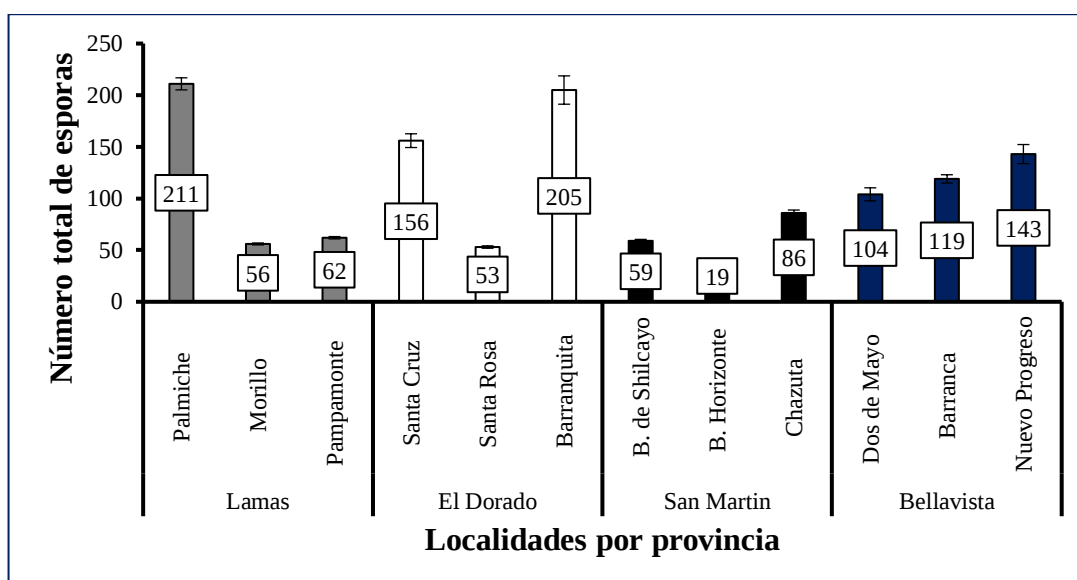


Figura 14: Número total de esporas de hongos micorrizicos arbusculares, en 10 g de suelo rizosférico ubicadas en 12 localidades de 4 provincias pertenecientes a la Región San Martín.

El análisis de varianza (Tabla 7) de la densidad de esporas presentes en 10 g de suelo rizosférico, extraído de plantaciones de sachá inchi en condiciones de campo entre los 12 tratamientos, indica que no existen diferencias significativas en las provincias ni en las localidades de muestreo, ya que el rango “p-valor” para ambos casos resultó ser mayor al 0,10 de nivel de significancia siendo este el nivel más alto de error, con un coeficiente de variabilidad de 37,73% y un coeficiente de

determinación (R^2) de 27%, mostrando una media de 21 esporas por 10 g de suelo resultados que no están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada, 1982, pero que es importante aclarar, la distribución heterogénea que existe en condiciones de campo de los microorganismos en el suelo, en este caso los HMA.

En cambio, el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,10$) (Figura 13 si muestra diferencias, siendo el mejor tratamiento el T1 (Palmiche – Lamas) con 42 esporas por 10 g de suelo, los demás tratamientos no mostraron ser diferentes entre sí, siendo además muy variados en su promedio de esporas por 10 g de suelo, el tratamiento con menor número de esporas fue el T8 (Bello Horizonte – San Martín) con 4 esporas por 10 g de suelo.

Además, la Figura 14 muestra el número total de esporas de HMA en las doce localidades muestreadas, siendo las localidades de Palmiche – Lamas y Barranquita – El Dorado las que tuvieron mayor número de esporas en 10 g de suelo rizosférico, con 211 y 205 esporas respectivamente, lo cual concuerda con la Figura 14, siendo la localidad de Bello Horizonte – San Martín la que obtuvo menor número con 19 esporas en 10 g de suelo rizosférico, esto da entender que la distribución y por ende la riqueza y diversidad de especies HMA se encuentra muy diversa y quizás este definida por las características de las localidades de muestreo como, condiciones ambientales, tipo de clima y relieve, tipo de manejo agronómico o por las características físico-químicas del suelo muestreado, ya que se encontró que algunos parámetros ambientales como la altura de la localidad muestreada (en este caso Palmiche – Lamas) se encuentran en una estrecha relación con la presencia de HMA y su potencial beneficio sobre las plantas de sachá inchi.

En relación a la densidad de esporas, este parámetro está muy relacionado con la colonización radicular y por lo tanto con la riqueza de especies HMA presentes en un lugar. Hasta ahora en las variables estudiadas se tiene que el mejor tratamiento es el T1 (Palmiche – Lamas) quien además es una grandiosa fuente de inóculo, por su diversidad de esporas y gran cantidad de especies identificadas (reportando inclusive una especie nueva), las cuales según el análisis multivariado (Figura 9), estaría muy influenciado por la altitud de la localidad y quizás por las condiciones ambientales propias del lugar, lo cual hizo que surgiera una gran diversidad de especies HMA identificadas y por identificar.

Este recurso biológico y en general de todas las localidades muestreadas en las cuatro provincias se debe en gran parte, a la nula (bosque primario o secundario), poca (agricultura extensiva o tradicional) o gran actividad humana (agricultura intensiva) sobre el medio ambiente, especialmente el suelo, ya que, los cambios estructurales en los bosques que son causados por perturbaciones antropogénicas pueden influir indirectamente en las comunidades de morfoespecie de HMA, es decir, la densidad de esporas, diversidad, riqueza de especies y colonización micorrízica de la raíz a través de la variación de la vegetación, condiciones microclimáticas, características físico-químicas del suelo, etc.

Por ejemplo, la cobertura vegetal reduce la erosión del suelo, mientras que su eliminación expone al suelo a aumentar la radiación (Cingolani *et al.*, 2003; Renison *et al.*, 2004) que afectan la composición de HMA (Dumbrell *et al.*, 2010; Lopes Leal *et al.*, 2013) y por ende la colonización radicular de plantas nativas o cultivos sembrados.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por, Del Águila, (2016), quien en su estudio de HMA sobre la nutrición de plantas de café, obtuvo el mayor número de esporas en la provincia de Lamas (rango de 700 a 1500 esporas por 10 g de suelo rizosférico, contabilizando el total de esporas en tres localidades) lo que da entender que la riqueza biológica de esta provincia no discrimina zonas de muestreo, en cambio, parece ser que la diversidad biológica de HMA es muy alta, en gran parte del territorio de la provincia.

En contraste con ello, se reconoce que no todos los hongos presentes pueden estar esporulando en el momento del muestreo, y que la abundancia y riqueza específica de las esporas encontradas puede no reflejar a toda la comunidad de HMA. Además, se reconoce que los recuentos de esporas pueden sobrestimar la abundancia de aquellas especies que esporulan fuertemente en el campo (Sanders, 2004). Así mismo, Medina (2017), también reporta altos índices de esporulación en la provincia de Lamas (167 esporas por 10 g de suelo), comparando con Moyobamba (120 esporas) y El Dorado (111 esporas).

Otro trabajo de investigación realizado en diferentes zonas de la provincia de Lamas, reporta altos índices de esporulación, siendo la localidad de Aucaloma la que presentó mayor número de esporas con 332 esporas por 10 g de suelo (Barrios,

2017). En conjunto, las esporas representan una característica importante de la historia de vida de los HMA, y su aislamiento y cuantificación es un proceso relativamente sencillo y accesible para la mayoría de los investigadores.

Si se quiere comparar resultados con otros trabajos de investigación, lo mejor es analizar los reportes obtenidos de la diversidad de HMA en condiciones donde no exista mucha perturbación ecológica generada con la agricultura intensiva, por ello, Velázquez *et al.*, (2013), investigaron y caracterizaron las comunidades HMA del Parque Nacional El Palmar de la provincia de Entre Ríos, Argentina, evaluando cinco tipos distintos de vegetación (bosque de galería, pastizal, pantano, bosque de palmeras y matorrales) aislando, identificando y cuantificando esporas durante 2 años. Encontraron que, la composición de las comunidades de HMA difería entre las estaciones, el suelo y los tipos de vegetación y en cuanto al número medio de esporas fue mayor en suelos pantanosos (2755 esporas), comparando con los demás tipos de vegetación, lo que demuestra como posible hipótesis, la gran diferencia poblacional que podría existir si se evaluará los suelos de Lamas (considerando este como el más rico en HMA) comparando con distintos tipos de vegetación existentes en la región durante un periodo largo de tiempo.

Un trabajo similar al anterior fue realizado en México, donde evaluaron la diversidad y abundancia de esporas de HMA bajo diferentes sistemas de producción de café y en un área de bosque tropical, donde la abundancia de esporas fue diferente entre los sitios de estudio y la abundancia de esporas fue mayor en la estación seca (387 esporas por 100 g de suelo) que en la estación húmeda (137 esporas por 100 g de suelo) (Arias *et al.*, 2012).

3.2.3. Riqueza de especies

La tabla 8 y la figura 15 muestran el Análisis de Varianza y la Prueba de Tukey ($p < 0,05$) respectivamente para la riqueza o diversidad de especies de HMA en sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.), datos transformados Función Logaritmo (x).

Tabla 8

Análisis de varianza para la riqueza o diversidad de especies de HMA en sacha inchi.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
PROVINCIAS	2,38	3	0,79	4,34	0,0087**
LOCALIDADES	5,24	8	0,65	3,59	0,0025**
Error	8,76	48	0,18		
Total	16,37	59			
**= Altamente significativo					
R ² = 76%		C.V= 10,64%		X̄= 8 especies	

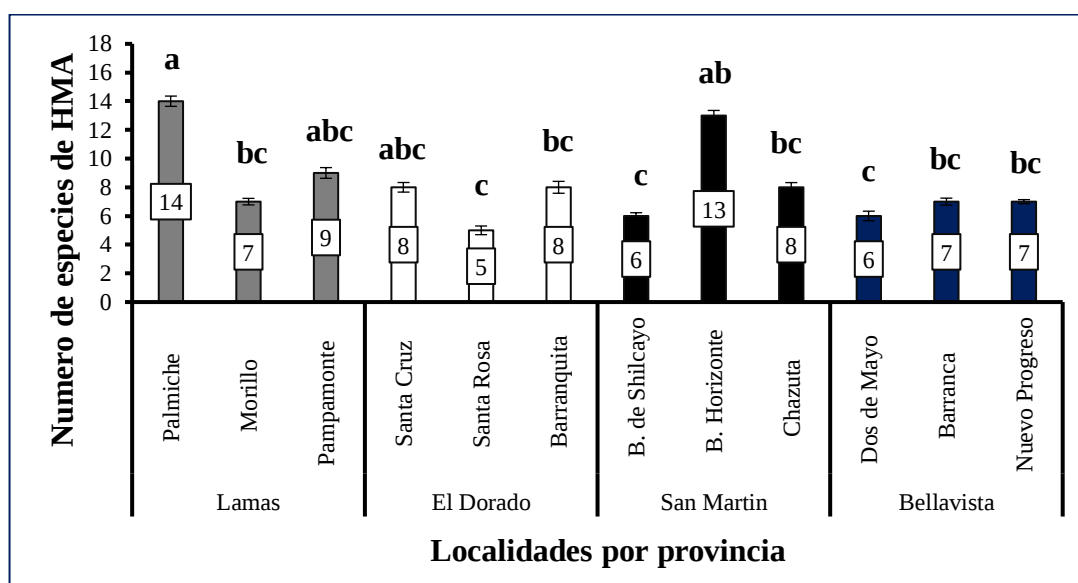


Figura 15: Prueba de Tukey (P<0.05), para la riqueza o diversidad de especies de HMA, presentes en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín.

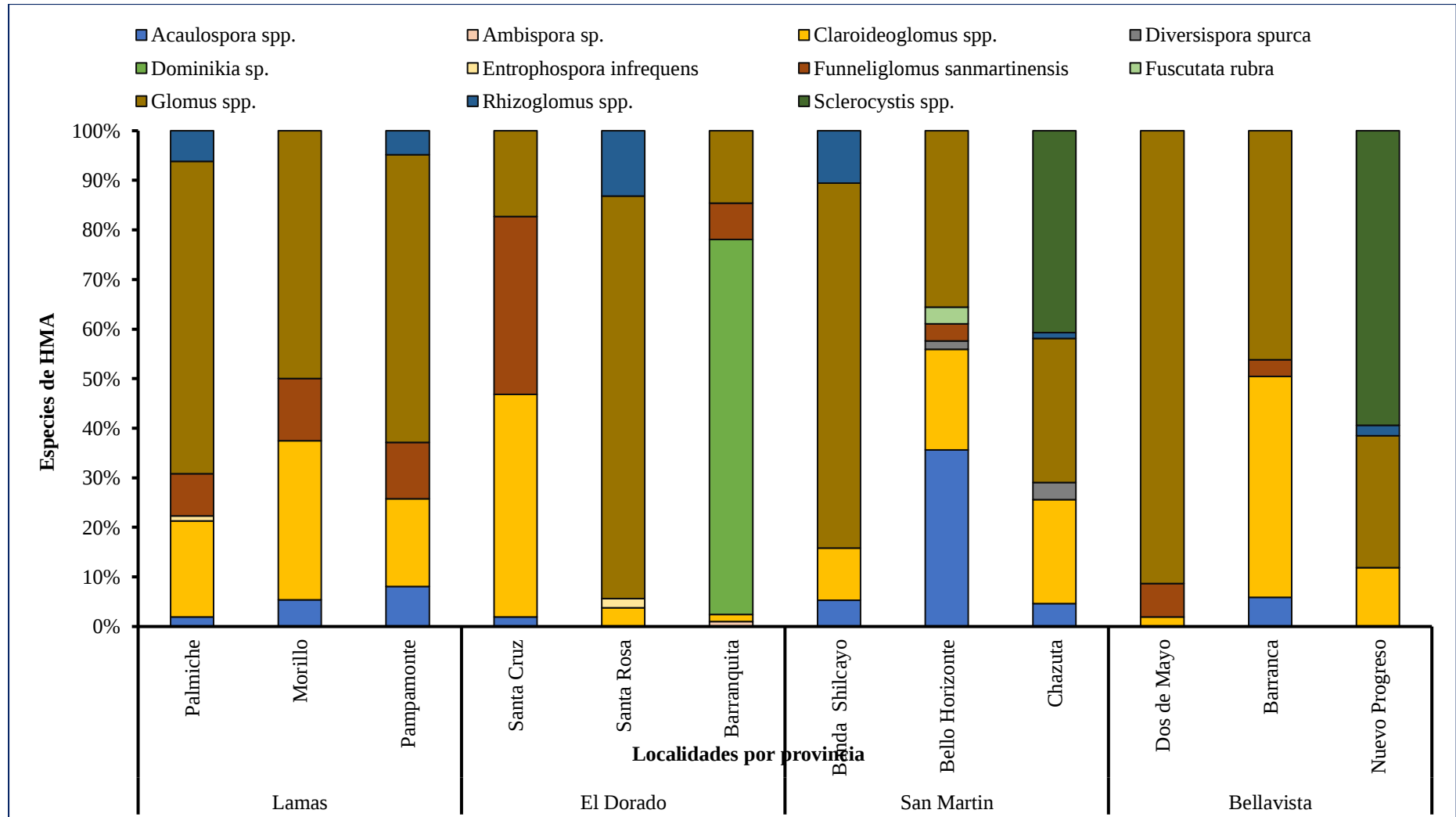


Tabla 9

Especies de HMA identificadas en el cultivo de Sacha inchi en las 4 provincias de estudio.

Fuentes de Inoculo	Especies HMA Identificadas		
Lamas Palmiche	<i>Acaulospora spinossisima</i>	<i>Entrophora infrequens</i>	<i>Claroideoglomus claroideum</i>
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Glomus geosporus</i>	<i>Glomus spinuliferum</i>
	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Glomus multiforum</i>	<i>Funneliglomus sanmartinensis</i> ****
	<i>Glomus sp.2*</i>	<i>Glomus sp.3*</i>	<i>Glomus sp. 5*</i>
	<i>Rhizoglomus fasciculatus</i>	<i>Rhizoglomus sp.**</i>	
Lamas Pampamonte	<i>Acaulospora spinossisima</i>	<i>Acaulospora elegans</i>	<i>Claroideoglomus claroideum</i>
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Glomus geosporus</i>	<i>Glomus spinuliferum</i>
	<i>Funneliglomus sanmartinensis</i> ****	<i>Rhizoglomus fasciculatus</i>	<i>Rhizoglomus sp.**</i>
Lamas Morillo	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Acaulosporoide sp.***</i>	<i>Claroideoglomus claroideum</i>
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Glomus geosporus</i>	<i>Glomus spinuliferum</i>
	<i>Funneliglomus sanmartinensis</i> ****		
El Dorado Santa Cruz	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Acaulospora spinossisima</i>	<i>Claroideoglomus claroideum</i>
	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Glomus geosporus</i>	<i>Funneliglomus sanmartinensis</i>
	<i>Glomus sp. 6*</i>	<i>Glomus sp. 7*</i>	
El Dorado Santa Rosa	<i>Entrophospora infrequens</i>	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>	<i>Glomus microcarpum</i>
	<i>Glomus sp. 4*</i>	<i>Rhizoglomus sp.**</i>	
El Dorado Barranquita	<i>Claroideoglomus claroideum</i>	<i>Glomus geosporus</i>	<i>Glomus spinuliferum</i>
	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Funneliglomus sanmartinensis</i> ****	<i>Ambispora sp.***</i>
	<i>Glomus tenebrosum</i>	<i>Dominikia sp.***</i>	

San Martín Bello Horizonte	<i>Acaulospora mellea</i>	<i>Acaulospora morrowiae</i>	<i>Acaulospora rehmsii</i>
	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Diversispora spurca</i>	<i>Claroideoglossum claroideum</i>
	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	<i>Funneliformis geosporus</i>	<i>Glomus microcarpum</i>
	<i>Funneliglossum sanmartinensis</i> ****	<i>Glomus</i> sp. 2*	<i>Glomus</i> aff <i>microcarpum</i>
	<i>Fuscutata rubra</i>		
San Martín Banda de Shilcayo	<i>Acaulosporoide</i> sp.***	<i>Claroideoglossum claroideum</i>	<i>Funneliformis geosporus</i>
	<i>Glomus</i> sp. 2*	<i>Glomus</i> sp.* 5	<i>Rhizoglossum fasciculatus</i>
San Martín Chazuta	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Diversispora spurca</i>	<i>Claroideoglossum claroideum</i>
	<i>Funneliformis geosporus</i>	<i>Glomus spinuliferum</i>	<i>Glomus microcarpum</i>
	<i>Rhizoglossum fasciculatus</i>	<i>Sclerocystis</i> aff. <i>coremioides</i>	
Bellavista Nuevo Progreso	<i>Claroideoglossum claroideum</i>	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	<i>Funneliformis geosporus</i>
	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Rhizoglossum</i> sp.**	<i>Sclerocystis coremioides</i>
	<i>Rhizoglossum arabico</i>		
Bellavista Barranca	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	<i>Acaulospora spinosissima</i>	<i>Claroideoglossum claroideum</i>
	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	<i>Funneliformis geosporus</i>	<i>Glomus microcarpum</i>
	<i>Funneliglossum sanmartinensis</i> ****		
Bellavista Dos de Mayo	<i>Claroideoglossum claroideum</i>	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	<i>Funneliformis geosporus</i>
	<i>Glomus microcarpum</i>	<i>Funneliglossum sanmartinensis</i> ****	<i>Glomus</i> sp. 2*

*(Género *Glomus* de los cuales no se identificó la especie).

** (Género *Rhizoglossum* del cual no se identificó la especie).

*** (Diversos géneros de HMA: *Ambispora*, *Acaulosporoide* y *Dominikia*, son géneros relativamente difíciles de encontrar, las cuales no se identificó la especie).

**** (*Funneliglossum sanmartinensis*, primera especie nueva en ser reportada en la región San Martín, Marzo-2019).

Fuente: Laboratorio Biología y Genética Molecular –Universidad Nacional de San Martín-Colaboración. Dr. Fritz Oehl.

El análisis de varianza (Tabla 8) de la riqueza o diversidad de especies de HMA presentes en suelos rizosféricos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo entre los 12 tratamientos, indica que existen diferencias altamente significativas tanto para las provincias como para las localidades, mostrando una media de 8 especies identificadas, con un coeficiente de variabilidad de 10.64 y un coeficiente de determinación (R^2) de 76 %, resultados que están dentro del rango de dispersión aceptable según Calzada, 1982.

Así mismo, el análisis de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$) (Figura 15) muestra que el mejor tratamiento fue el T1 (Palmiche – Lamas) con 14 especies identificadas presentes en estos suelos, seguido por el tratamiento T8 (Bello Horizonte – San Martín) con un total de 13 especies identificadas respectivamente. Los demás tratamientos no mostraron diferencias estadísticas significativas entre sí, a excepción de los tratamientos T5 (Santa Rosa – El Dorado), T7 (Banda de Shilcayo – San Martín) y T10 (Dos de Mayo – Bellavista) quienes mostraron diferencias estadísticas significativas comparadas con el T1, siendo además los tratamientos con menor número de especies identificadas con 5; 6 y 6 especies respectivamente.

Además, la figura 16 muestra el número de especies de HMA identificadas en las 12 localidades de cuatro provincias de la región, que estuvieron presentes en el suelo rizosférico de plantaciones de sachá inchi, siendo dominante y por una gran cantidad de esporas la presencia de *Glomus* spp., en todas las localidades estudiadas, así como esporas de HMA pertenecientes a *Claroideoglomus* spp, pero en una cantidad menor.

Se destaca además, la presencia de una nueva especie descubierta hace poco, *Funneliglomus sanmartinensis*, estando presente en 7 localidades, siendo Santa Cruz – El Dorado la localidad que alberga al mayor número de esporas de esta especie, otra de las especies importantes que se encontraron en gran cantidad fueron *Acaulospora* spp., presente mayormente en Bello Horizonte – San Martín, o como también esporas de *Rhizoglomus* spp., presente mayormente en Santa Rosa – El Dorado, por ultimo cabe mencionar la abundancia de esporas de *Sclerocystis* spp., presente en Chazuta – San Martín y Nuevo Progreso – Bellavista. La figura 16 también muestra, que algunas especies HMA tuvieron preferencia en determinadas localidades, encontrándose de manera interesante en gran o poca cantidad, lo que podría tener un cierto grado de afinidad con cada una de ellas, esto, podría deberse a

las condiciones ambientales propias de cada localidad lo que resulto que estas especies solo se encuentren en esta parte de la región, son los casos de la presencia y en gran cantidad de esporas de *Dominikia* sp., en la localidad de Barranquita, así como, un pequeño número de esporas de *Entrophospora infrequens* en Santa Rosa y *Ambispora* sp., en Barranquita todo ello perteneciente a la provincia de El Dorado, o la presencia de esporas de *Diversispora spurca* en cantidades pequeñas en las localidades de Bello Horizonte y Chazuta, como también esporas de *Fuscutata rubra* y *Acaulosporoide* sp, todo ello presente en la provincia de San Martín.

En cuando a *Dominikia* sp., este género fue establecido por Błaszowski et al., (2014), siendo un género difícil de aislar del suelo por las propiedades físicas que poseen las esporas (esporas pequeñas y hialinas). Por su parte, *Entrophospora infrequens* es una especie perteneciente a la familia Entrophosporaceae que fue identificada por Ames & Schneider, (1979), son esporas con presencia de sáculos en la base de la hifa, de pequeño tamaño y que frecuentemente se le confunde con *Acaulospora*, y es por esto que, son difíciles de identificar. Las esporas pertenecientes a *Ambispora* sp., aunque no fueron muchas, es sinónimo de diversidad de especies, ya que, *Ambispora* produce esporas acaulosporoides y glomoides, lo que dificulta su identificación. *Diversispora spurca* es una especie perteneciente a la familia diversisporaceae, que comprende principalmente al género *Diversispora*, pero que actualmente existen varios géneros que no todavía se define su clasificación taxonómica, por ser un género muy difícil de estudiar incluso para especialistas.

La Tabla 9 muestra las especies identificadas en las diferentes localidades de las cuatro provincias de la región, recalando la presencia de un nuevo género y una nueva especie que es *Funneliglomus sanmartinensis*.

En la actualidad, se han descrito 342 especies de HMA (http://www.amf-phylogeny.com/amphylo_species.html) dentro de la Glomeromycota (Artur Schubler ,2019). La riqueza de especies es un gran indicador de diversidad y dominancia de los HMA de un determinado lugar, es por ello que, de acuerdo a los resultados obtenidos, Medina (2017), reporta 12 especies de HMA en la provincia El Dorado, seguido de las provincias de Lamas y Moyobamba ambas con 11 especies identificadas, todas ellas interactuando con plantaciones de café, siendo predominante la presencia de *Acaulospora* sp., y *Glomus* sp., en las tres provincias muestreadas. Cabe resaltar que la riqueza de especies no depende del número de

esporas presentes en una zona, ya que algunos estudios han encontrado preferencias de ciertas plantas huésped para ciertas especies de hongos, lo que indica que el socio hospedero puede influir en la comunidad HMA asociada a ella (Li *et al.*, 2010), además, la relación entre HMA y las especies de plantas hospedadoras podría explicarse por las diferencias funcionales entre los taxones de HMA, especialmente en relación con el efecto que tienen en sus hospedadores (Munkvold *et al.*, 2004).

Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, los hongos de la familia Glomerales colonizan principalmente sistemas de raíces a partir de un fragmento hifal, mientras que la colonización de raíces por Diversisporales comienza a partir de esporas (Hart & Reader, 2002). A nivel familiar, esto implica que los hongos de Diversisporales son colonizadores más lentos que los miembros de los Glomerales (Hart & Reader, 2002). Lo que podría haber pasado para obtener variación en las comunidades fúngicas de las doce localidades evaluadas. Además, otra característica importante lo reportaron Velázquez *et al.*, (2013), en donde observaron variaciones estacionales en miembros de las Glomeraceae, Acaulosporaceae, Archaeosporaceae, Claroideoglomeraceae, Gigasporaceae y Pacisporaceae, dependiendo del tipo de suelo, las comunidades de esporas de HMA estaban dominadas por distintos miembros de la Glomeromycota.

Las comunidades de HMA de pastizales y bosques de palmeras, que se encontraban en suelos arenosos, estaban integradas principalmente por los Diversisporales, con un alto porcentaje de especies de Acaulospora y Gigasporaceae. En cambio, las comunidades de los bosques de galería, pantanos y matorrales, que se encuentran en suelos arcillo-limosos, estaban compuestas por miembros de los Glomerales, con un alto porcentaje de esporas de especies de Glomus. Por lo tanto, tanto los HMA como las comunidades de plantas parecen estar fuertemente influenciadas por las condiciones edáficas.

En el mundo se reporta varios trabajos de investigación relacionados a la riqueza de especies de HMA en diferentes condiciones ambientales, además de las características propias del suelo, que se entiende que difieren entre sí con las condiciones ambientales y de suelo de las doce localidades de muestreo de la región. Pero que tienen algo en común, varios artículos reportan a especies del género *Glomus* spp., *Acaulospora* spp, y *Claroideoglomus* spp., como los más dominantes y

en menor grado a *Gigaspora* spp, es así que, por ejemplo, Velázquez et al., (2013) reporta 14 taxones procedentes de Acaulosporaceae, 13 de Glomeraceae y Gigasporaceae, dos de Claroideoglomeraceae y un taxón de Archaeosporaceae, Entrophosporaceae, Pacisporaceae y Paraglomeraceae. Siendo *Acaulospora dilatata*, *A. mellea*, *A. scrobiculata* y *Claroideoglossum etunicatum* las especies dominantes con un 100% de frecuencia, seguidas de *A. delicata*, *C. claroideum* y *Glomus* sp. con un 93,3% de frecuencia. Arias et al., (2012), mencionan que, de 120 muestras analizadas, un total de 33 morfoespecies se distinguieron en base a criterios morfológicos, siendo los géneros más comunes: *Glomus* (16 especies) y *Acaulospora* (12 especies), además se detectaron muy pocas morfoespecies de *Ambispora* (1 especie), *Entrophospora* (1 especie), *Gigaspora* (1 especie) y *Scutellospora* (2 especies).

3.2.4. Taxonomía de la comunidad HMA identificada

La Tabla 10 muestra la ubicación taxonómica de las especies HMA identificadas, reportando un total de 32 especies de hongos micorrizicos arbusculares, los cuales servirán como un gran reporte a la comunidad científica nacional e internacional sobre la asociatividad que tienen sobre plantaciones de *sacha inchi* en condiciones de campo.

La misma tabla muestra géneros y especies que se encontraron en suelos rizosféricos en cuatro provincias de la región y que fueron reportados recientemente en diferentes partes del mundo (2010 en adelante), los cuales son: *Claroideoglossum claroideum* (2010), *Claroideoglossum etunicatum* (2010), *Rhizoglossum fasciculatus* (2010), *Rhizoglossum arabico* (2014), *Acaulospora spinosissima* (2014), considerando que en el mundo de la ciencia y sobre todo en realizar trabajos de identificación de HMA, es un trabajo riguroso y de mucha paciencia se puede decir que estos reportes encontrados son muy importantes para la región y para el Perú, ya que no existe un reporte en el país de tal magnitud. Y que mejor considerando que se encontró y reportó un nuevo género que alberga una nueva especie, que es, *Funneliglossum san martinensis* (2019), estando disponible en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM) (para trabajos futuros de investigación) y en condiciones de campo, en los suelos de las provincias de El Dorado y Lamas (Santa Cruz – El Dorado, reportada con mayor presencia). Además, se reporta seis especies

pertenecientes al género *Glomus*, una especie al género *Rhizoglomus*, una especie al género *Dominikia*, una especie al género *Ambispora* y una especie al género *Acaulosporoide*, las cuales no fueron identificadas a nivel de especie, por poseer estructuras fúngicas que no fueron reportadas en publicaciones científicas, lo que podría ser signo de una especie nueva la cual se tendría que realizar más pruebas de identificación, considerando que se tuvo asesoramiento de un taxónomo de nivel mundial, el Dr. Fritz Oehl.

Tabla 10*Ubicación Taxonómica de los Hongos Micorrízicos Arbusculares Identificados.*

Orden	Familia	Género	Especie
Glomerales	Entrophosporaceae	Entrophospora	<i>Entrophospora infrequens</i> (I.R. Hall) R.N. Ames & R.W. Schneid (1979)
		Claroideoglomus	<i>Claroideoglomus claroideum</i> (N. C. Schenck & G. S. Sm.) C. Walker & Schuessler (2010)
			<i>Claroideoglomus etunicatum</i> (W.N. Becker & Gerd.) C. Walker & Schuessler (2010)
		Funneliglomus	<i>Funneliglomus san martinensis</i> (Corazon-Guivin, G.A. Silva & Oehl) (2019)
	Glomeraceae	Glomus	Funneliformis
			<i>Funneliformis geosporum</i> (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler (1982)
			<i>Glomus spinuliferum</i> Sieverd. & Oehl (2003)
			<i>Glomus microcarpum</i> Tulasne et. Tulasne (1845)
			<i>Glomus</i> aff. <i>microcarpum</i>
			<i>Glomus multiforum</i> Blaszkowski J., Tadych M. 1997
			<i>Glomus</i> sp. 2
			<i>Glomus</i> sp. 3
			<i>Glomus</i> sp. 4
			<i>Glomus</i> sp. 5
			<i>Glomus</i> sp. 6
			<i>Glomus</i> sp. 7
			<i>Glomus tenebrosum</i> S.M (Berch) (1983)
		Rhizoglomus	<i>Rhizoglomus fasciculatus</i> (Thaxt.) C. Walker & Schuessler (2010)
			<i>Rhizoglomus arabico</i> Blaszk; symanczik & Al-yanya'ei (2014)
			<i>Rhizoglomus</i> sp.
		Sclerocystis	<i>Sclerocystis coremioides</i> Berk, & Broome (1873)
			<i>Sclerocystis</i> aff. <i>coremioides</i>
		Dominikia	<i>Dominikia</i> sp.
Archaeosporales	Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora</i> sp.
Diversisporales	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora mellea</i> Spain & N.C. Schenck (1984)
			<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck (1984)
			<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd. (1974)
			<i>Acaulospora rehmi</i> Sieverd. & S. Toro (1987)
			<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe (1977)
			<i>A. spinosissima</i> Oehl, Palenz., I.C. Sánchez, Tchabi, Hount. & G.A.Silva (2014)
Gigasporales	Diversisporaceae	Diversispora	<i>Acaulosporoide</i> sp. 1
	Denticutataceae	Fuscutata	<i>Diversispora spurca</i> (C.M. Pfeiff., C. Walker & Bloss) C. Walker & A. Schuessler (2004)
			<i>Fuscutata rubra</i> (Stürmer & J.B. Morton) Oehl, F.A. Souza & Sieverd (2009)

3.2.5. Parámetros ecológicos de riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad

La tabla 11 muestra los parámetros ecológicos de riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad de los HMA de las cuatro localidades en cuatro provincias de la región, la comunidad biológica donde se registró mayor riqueza de especies fue la localidad de Palmiche, seguida de Bello Horizonte y menor rango en la localidad de Santa Rosa, el índice de diversidad más alto con respecto a las demás localidades se encontró mayor en la localidad de Bello Horizonte, además los índices de dominancia y equitatividad no se obtuvo diferencias significativas entre las localidades estudiadas.

Tabla 11

Medidas ecológicas para describir la estructura de la comunidad de HMA.

Provincias	Localidades	Riqueza	Diversidad máxima	Índice de diversidad (Shannon)	Índice de dominancia (Simpson)	Equitatividad (Pielov)
Lamas	Palmiche	14 a	2,63 a	1,79 ab	0,25 a	0,68 a
	Morillo	7 bc	1,94 abc	1,4 ab	0,31 a	0,72 a
	Pampamonte	9 bc	2,19 abc	1,46 ab	0,35 a	0,66 a
El Dorado	Santa Cruz	8 abc	2,08 abc	1,37 ab	0,31 a	0,66 a
	Santa Rosa	5 c	1,61 c	1,09 ab	0,42 a	0,68 a
	Barranquita	8 bc	2,08 abc	0,88 ab	1,02 a	0,42 a
San Martín	Banda de Shilcayo	6 c	1,8 bc	1,41 ab	0,32 a	0,78 a
	Bello Horizonte	13 ab	2,6 ab	2,39 a	0,1 a	0,93 a
	Chazuta	8 abc	2,1 abc	1,51 ab	0,27 a	0,72 a
Bellavista	Dos De mayo	6 c	1,79 c	1,1 b	0,42 a	0,61 a
	Barranca	7 bc	1,95 abc	1,25 ab	0,35 a	0,64 a
	Nuevo Progreso	7 bc	1,95 abc	1,08 ab	0,43 a	0,55 a

Prueba de Tukey ($P < 0.05$), para los parámetros ecológicos de riqueza, diversidad, dominancia y equitatividad de HMA, presentes en doce localidades de cuatro provincias de la región San Martín.

El índice de diversidad (Shannon) fue lo suficientemente sensible como para detectar diferencias de diversidad de HMA entre las localidades de muestreo, además, demostró que las condiciones propias de cada localidad fueron muy determinantes de la diversidad, por ser un factor importante para determinar la aparición de ciertas especies de HMA en cada localidad, estos resultados son semejantes a los reportados por (Bonfim *et al.*, 2016; Marinho *et al.*, 2017), quienes trabajaron en distintos suelos de bosque de la amazonia brasileña. En cambio, la diversidad máxima y la riqueza de especies muestran la gran cantidad de especies obtenidas, especialmente de la localidad Palmiche (Lamas). Por su parte, en el índice de dominancia y equitatividad, significó que, para todas las localidades muestreadas, el número de especies con la diversidad de esporas no tuvieron diferencias entre las localidades.

3.3. Descripción morfológica de cada especie HMA identificado en 12 localidades de la Región San Martín

La Tabla 12: Muestra la caracterización e identificación taxonómica de especies de HMA, aislados de suelo de parcelas de sachá inchi de doce localidades en cuatro provincias de la región San Martín. Detallando cada característica propia de cada especie.

Tabla 12

Descripción morfológica de HMA identificados taxonómicamente en doce localidades de parcelas de sacha inchi en la región San Martín.

Especies	Caracterización morfológica
1.- <i>Acaulospora elegans</i> 	Color: marrón claro a crema. Forma: globosa Diámetro: 150 - 155 μm Número de paredes: Tres (L1,L2,L3) Ornamentación: si Cicatriz: si Reacción en melzer: si
2.- <i>Acaulospora mellea</i> 	Color: marrón anaranjado Forma: globosa, sub globoso, ocasionalmente irregular. Diámetro: 90 - 140 μm Número de paredes: Tres (L1, L2, L3). Ornamentación: no Cicatriz: si Reacción en melzer: si
3.- <i>Acaulospora morrowiae</i> 	Color: marrón pálido Forma: globosa, sub globosa Diámetro: 60 - 100 μm Número de paredes: 03 Ornamentación: no Cicatriz: si Reacción en melzer: si

4.- *Acaulospora rehmii*



Color: amarillo marrón a naranja marrón

Forma: globosa, sub globosa.

Diámetro: 100-160 μm

Número de paredes: Tres

Ornamentación: Si

Cicatriz: si

Reacción en melzer: Si

5.- *Acaulospora scrobiculata*



Color: hialinos a amarillo pálido

Forma: globosa, sub globosa

Diámetro: 80-160 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: Si

Reacción en melzer: Si

6.- *Acaulospora spinosissima*



Color: Amarillo claro cuando son jóvenes, se vuelven de color amarillo brillante a amarillo parduzco esporas maduras.

Forma: globosa, sub globosa.

Diámetro: 120 a 187 μm .

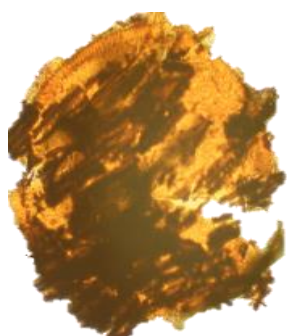
Número de paredes: Dos (L1, L2, L3).

Ornamentación: si

Cicatriz: si

Reacción en melzer: si

7.- *Acaulosporoide* sp



Color: Naranja a crema
 Forma: globosa, sub globosa
 Diámetro: 100 a 150 μm .
 Número de paredes: Dos (L1 y L2).
 Ornamentación: si
 Cicatriz: si
 Reacción en melzer: si

8.- *Ambispora* sp



Color: Amarilla a crema.
 Forma: globosa, sub globosa
 Diámetro: 80 a 125 μm .
 Número de paredes: tres (L1, L2 y L3).
 Ornamentación: si
 Cicatriz: no
 Reacción en melzer: no

9.- *Claroideoglopus etunicatum*



Color: Naranja a marrón rojizo.
 Forma: Globosa, sub globosa
 Diámetro: 60-160 μm .
 Número de paredes: Dos (L1 y L2).
 Ornamentación: No
 Cicatriz: No
 Reacción en melzer: No

10.- *Claroideoglossum claroideum*

Color: Crema a amarillo claro.

Forma: Globosa, sub globosa

Diámetro: 80-160 μm .

Número de paredes: Cuatro (L1, L2, L3 y L4).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

11.- *Diversispora spurca*

Color: Sub hialina a marrón amarillo pálido.

Forma: Globosa, sub globosa

Diámetro: 60-120 μm .

Número de paredes: Dos (L1 y L2).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

12.- *Entrophospora infrequens*

Color: Naranja claro marrón a marrón naranja oscuro.

Forma: Globosa, sub globosa

Diámetro: 100 a 160 μm .

Número de paredes: Cuatro (L1, L2, L3 y L4).

Ornamentación: Si

Cicatriz: Si

Reacción en melzer: No

13.- *Funneliformis geosporum*



Color: amarillo-marrón a naranja oscuro-marrón, el primero es más frecuente y varía con el aislamiento.

Forma: Globosa, sub globosa

Diámetro: 120-240 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3)

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

14.- *Glomus spinuliferum*



Color: amarillo girasol a naranja

Forma: Globosa

Diámetro: 80-150 μm .

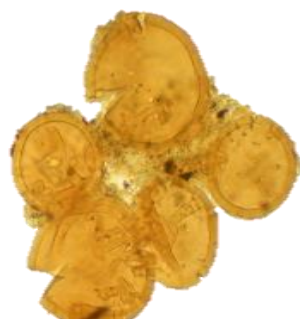
Número de paredes: Cuatro (L1, L2, L3 y L4).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

15.- *Glomus aff. microcarpum*



Color: Naranja a marrón claro.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 180-450 μm en esporocarpos.

Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

16.- *Glomus microcarpum*



Color: Esporas de color amarillo pálido a amarillo dorado.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 180-350 μm en esporocarpos.

Número de paredes: 2 capas

Ornamentación: No.

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

17.- *Glomus multiforum*



Color: Amarillo intenso a marrón

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 100-140 μm .

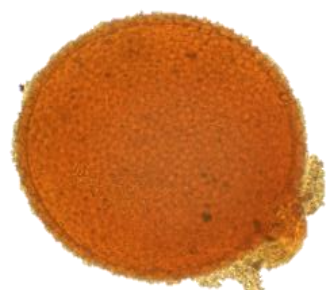
Número de paredes: Tres (L1, L2, L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: Si

18.- *Funneliglomus sanmartinensis*



Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja. O son concoloras con la espora.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 150-220 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

19.- *Glomus* sp 2

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 150-220 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

20.- *Glomus* sp 3

Color: Amarillo, rojo a marrón claro

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 100-210 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

21.- *Glomus* sp 4

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 150-220 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: Si

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

22.- *Glomus* sp 5



Color: Amarillo a crema pálida.
 Forma: Globosa a sub globosa
 Diámetro: 120-199 μm .
 Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).
 Ornamentación: Si
 Cicatriz: No
 Reacción en melzer: No

23.- *Glomus* sp 6



Color: Marrón oscuro.
 Forma: Globosa a sub globosa
 Diámetro: 120-199 μm .
 Número de paredes: Dos (L1, L2 y L3).
 Ornamentación: No
 Cicatriz: No
 Reacción en melzer: No

24.- *Rhizoglomus* sp



Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.
 Forma: Globosa a sub globosa
 Diámetro: 70-190 μm .
 Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).
 Ornamentación: No
 Cicatriz: No
 Reacción en melzer: No

25.- *Rhizoglosum fasciculatus*

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

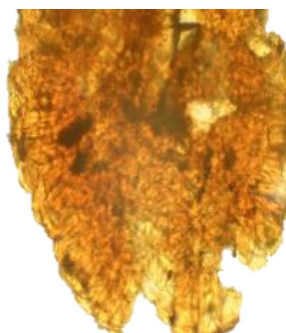
Diámetro: 60-110 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: Si

26.- *Sclerocystis aff. coremioides*

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 45-100 μm .

Número de paredes: Dos (L1 y L2).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

27.- *Sclerocystis coremioides*

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 45-100 μm .

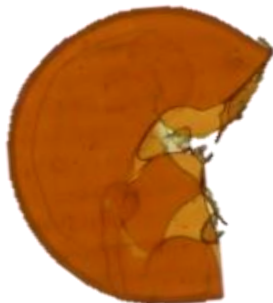
Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

28.- *Fuscutata rubra*



Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 140-220 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: Si

Reacción en melzer: Si

29.- *Glomus tenebrosum*



Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 200-270 μm .

Número de paredes: Dos (L1, L2).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

30.- *Rhizoglofus arabico*



Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

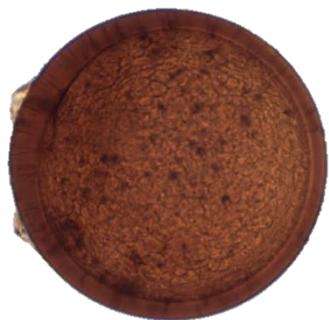
Diámetro: 120-250 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

31.- *Glomus* sp 7

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

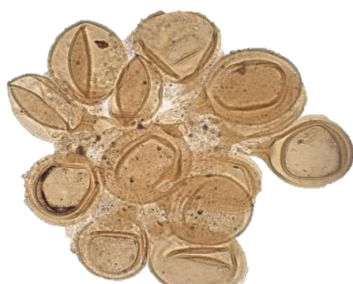
Diámetro: 120-199 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

32.- *Dominikia* sp

Color: Amarillo, rojo a marrón claro y otras veces de color naranja.

Forma: Globosa a sub globosa

Diámetro: 30-100 μm .

Número de paredes: Tres (L1, L2 y L3).

Ornamentación: No

Cicatriz: No

Reacción en melzer: No

CONCLUSIONES

- Se logró aislar e identificar especies de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA), de 12 localidades dentro de 4 provincias de la región San Martín, obteniéndose un total de 32 especies de HMA aislados de un gran número de esporas, que están en simbiosis con plantas de sacha inchi en campo, no se logró identificar seis especies del género *Glomus*, una especie del género *Sclerocystis*, una especie del género *Dominikia*, una especie del género *Ambispora* y una especie del género *Acaulospora*, todos estos resultados ponen en evidencia la riqueza de especies nuevas para la ciencia.
- En las variables biológicas, densidad de esporas y riqueza de especie, se concluye que, las parcelas de sacha inchi que presentaron una mayor diversidad fueron las localidades de Palmiche (Lamas) y Barranquita (El Dorado), con 42 y 41 esporas respectivamente. Con respecto a la riqueza de especies la localidad de Palmiche (Lamas) y Bello Horizonte (San Martín) fueron lo que obtuvieron la mayor riqueza de especies con 14 y 13 respectivamente.
- En la variable colonización de raíces de sacha inchi, se concluye que, la localidad más diversa fue Dos de Mayo y Barranca (Bellavista), la cual en comparación con las demás localidades y en especial con Palmiche, Barranca y Barranquita (mayor densidad de esporas y riqueza de especies), se podría afirmar que las especies de HMA de Dos de Mayo y Barranca fueron los mejores colonizadores de raíces de sacha inchi en condiciones de campo, que las demás localidades, lo cual se explicó en las discusiones.
- En cuanto a los parámetros ecológicos se concluye que el índice de diversidad más alto con respecto a las demás localidades de estudio, se registró mayor en la localidad de Bello Horizonte, además los índices de dominancia y equitatividad no se obtuvo diferencias significativas entre las localidades, El índice de diversidad (Shannon) fue lo suficientemente sensible como para detectar diferencias de diversidad de HMA entre las 12 localidades estudiadas.
- Se puede afirmar que este es uno de los primeros reportes de especies de Hongos Micorrizicos Arbusculares identificados en las parcelas de sacha inchi de la región San Martín. Pero es el primero en obtener confiabilidad de datos obtenidos, ya que la identificación taxonómica se realizó con supervisión de taxónomos con reconocimiento mundial en este tema de investigación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la identificación molecular de las especies Hongos Micorrizicos Arbusculares, que no fueron identificados en el presente estudio por los taxónomos, ya que esta información biológica es muy importante para la ciencia, nuestro país y región.
- Realizar multiplicación (cultivos puros), de las especies identificadas en condiciones de vivero, seleccionando aquellas que solo se adapten a las condiciones y logren esporular en cultivos trampa (*Medicago sativa*, *Sorghum* spp y *brachiaria decumbens*) la cual servirá como banco de propagación para futuros trabajos y su aplicación en diferentes cultivos de nuestra región.
- Realizar bioensayos de bio fertilización y bio protección en condiciones de vivero, con las especies de HMA identificadas, en plantas de sachá inchi u otros cultivos, que podría servir en un futuro como inoculante y generar mejores condiciones en la adaptación a campo definitivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L. y Robson, A. (1991). *Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 35, 121-150.
- Alexander, T.; Meier, R.; Toth, R.; Christian, H. (1988). *Dynamics of arbuscule development and degeneration in mycorrhizas of Triticum aestivum L. and Avena sativa L. with reference to Zea mays L.* *New Phytol.* 110:363–370.
- Alguacil, M.; Roldán, A.; y Torres, M. (2009). *Assessing the diversity of AM fungi in arid gypsophilous plant communities*. *Environmental Microbiology*. 11: 2649–2659.
- Al-Karaki G. (2000). *Growth, water use efficiency, and mineral acquisition by tomato cultivars grown under salt stress*. *J Plant Nutr.* 23:1–8.
- Arévalo, G. (1995). *El Cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia Volubilis L.), en la Amazonía*, Instituto de Investigación Agraria, Proyecto Suelos Tropicales, Lima, Perú. 68 p.
- Arias, R.; Heredia, A. G.; Sosa, V. J.; Fuentes, R. L. (2012). *Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico*. *Revista Agroforestry Systems – Springer*, 85: 179 – 193 pág. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9414-3>.
- Azcón, C. y Barea, J. (1980). "Micorrizas". *Investigación y Ciencia*., 47: 8-16.
- Barea, J. (1998). *Biología de la rizosfera*. *Investigación y Ciencia*., 47:74-81.
- Barea, J., Azcón, C.; Ocampo J., Azcón R. (1991). *Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares*. Madrid.
- Barrios, Ll. (2017). *Selección de morfotipos de hongos Micorrízicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la subcuenca del Cumbaza*. Tesis (título para ingeniero agrónomo). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 68 pp. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2585/AGRONOMIA%20-%20Lleny%20Barrios%20Lopez.pdf>.
- Bethlenfalvay, J. (1992). *Mycorrhizae in the agricultural plant- soil system*. Review. *Symbiosis*. 14:413-425.

- Bernaola, L.; Cange, G.; Way, M.; Gore, J.; Hardke, J.; Stout, M.; (2018). *Natural colonization of rice by arbuscular mycorrhizal fungi in different production areas*. Rice Science. 2018, 25(3):169-174.
- Błaszowski, J.; Chwat, G.; Góralska, A.; Ryszka, P.; & Kovács, G. M. (2014). *Two new genera, Dominikia and Kamienskia, and D. disticha sp. nov. in Glomeromycota*. Nova Hedw. 100: 225–238. doi:10.1127/nova_hedwigia/2014/0216.
- Bonfante, P. y Gripiolo, R. (1984). *Cytochemical and biochemical observations on the cell wall of the spore of Glomus epigaeum*. Protoplasma, 123, 140-151.
- Bonfante, P. y Genre, A. (2010). *Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis*. Nat. Commun, pp. 1, 1–11.
- Brundrett M. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Monografia 32. Canberra, Australia.
- Bucher, M. (2006). *Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces*. New Phytologist, 173: 11-26.
- Calzada, B. (1982). *Métodos estadísticos para la investigación*. Lima. 644 pp.
- Carballar, H. (2009). *Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrizico en especies silvestres de Agave en Oaxaca*. Tesis (Magister en ciencias de la conservación y aprovechamiento de recursos naturales). México. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional Unidad-Oaxaca, 2009. pp 26-45. [Fecha de consulta: 05 de setiembre de 2019]. Disponible en: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/79/CARBALLAR%20HDEZ%20SANTOS,%202009.pdf?sequence=1
- Christensen, L. (1991). *Raisin Production Manual*. University of California. Agriculture & Natural Resources, Communication Services. phosphorus by plants, 2000. Plant and Soil 134: p. 189-207.
- Clark, R. & Zeto S. (1996). *Growth and root colonization of mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil*, 1996. *Soil Biology and Biochemistry*.

- Cingolani, A.; Cabido, M.; Renison, D.; & Solís V. (2003). *Combined effects of environment and grazing on vegetation structure in Argentine granite grasslands*. J. Veg. Sci. 14: 223-232.
- Corazón, M.; Cerna, A., Guerrero, J. C.; Vallejos, A., Carballar, S.; Alves, G. & Oehl, F. (2019). *Funneliglomus*, gen. nov., and *Funneliglomus sanmartinensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the Amazonia region in Peru. Sydowia. 71. DOI 10.12905/0380.sydowia71-2019-0017
- Cornejo, P. (2006). *Influencia de la cobertura vegetal sobre la diversidad y estructura de las comunidades de hongos micorrízicos y sus efectos en la estabilización de suelos degradados*.
- Corwell, W.; Bedford, B.; y Chapin, C. (2001). *Ocurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization*. American Journal of Botany, 88 (10): 1824-1829.
- Del Aguila, K. (2016). *Efecto de la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares a plantones de café (Coffea arabica), variedad caturra a nivel de vivero en la región San Martín*. Tesis (Título de ingeniero agrónomo). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 118 pp. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2019]. Disponible http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/826/TP_AGRO_00698_2016.pdf.
- Dumbrell, A. J. (2010). *Relative roles of niche and neutral processes in structuring a soil microbial community*. ISME J., 4: 337–345.
- Franken, P.; Donges, K.; Grunwald, U.; Kost G.; Heinz, K.; Tamasloukht, M.; Waschke A. Zeuske, D. (2007). *Gene expression analysis of arbuscule development and functioning*. Phytochemistry., 68(1): 68-74.
- Gadkar, V.; Schwartz, R.; Kunik, T.; Kapulnik, Y. (2001). *Mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition*. Plant Physiology, 27: 1493- 1499.
- Gao, C.; Wang, L.; Milgrom, E.; Shen, W. C. W. (2004). *On the mechanism of constitutive Pdr1 activator-mediated PDR5 transcription in Saccharomyces cerevisiae: evidence for enhanced recruitment of coactivators and altered nucleosome structures*. J Biol Chem. 279(41):42677-86.
- Gerdemann, J. y Nicholson, T. (1963). *Spores of mycorrhizal Endogone extracted from soil by wet sieving and decanting*. Transactions of the British Mycological Society. v. 46, n. 2, p. 235-244.

- Gillespie, L. (1993). *A synopsis of neotropical Plukenetia (Euphorbiaceae) including two new species*. Systematic Botany. 18 (4): 575 – 592.
- Giovannetti, M., y Gianinazzi-Pearson, V. (1994). *Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi*. Review Mycology Research. 98 (7): 705-715.
- Gogoi, P., y Singh R. (2011). *Differential effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Piper longum L. (Piperaceae)*. Indian Journal of Science and Technology. 4: 119-125.
- Guerrero, E. *Micorrizas*. (1996). *Recurso biológico del suelo. Fondo FEN Colombia, Bogotá. 208 p. Colonización intraradical y extracción de esporas del suelo*. Tlaxcala. México experimental botany: 1-16.
- Hamaker, B.R.; Valles, C.; Gilman, R.; Hardmeier, R.M.; Clark, D.; García, H.H.; Gonzales, A.E.; Kohlstedt, I.; Castro, M.; Valdivia, R.; Rodríguez, T. & Lescano, M. (1992). *Amino acid and fatty acid profiles of the Inca peanut (Plukenetia volubilis)*. Cereal Chemistry Journal, 69: 461-463.
- Harrison, M. (1997). *The arbuscular mycorrhizal symbiosis: An underground association*. Review Elsevier Trends Journal. 2(2): 54-60.
- Harrison, M. (1999). *Molecular and cellular aspects of the arbuscular mycorrhizal symbiosis*. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 50:361-389.
- Hart, M. M.; Forsythe, J.; Oshowski, B.; Bücking, H.; Jansa, J.; & Kiers, T. E. (2012). *Hiding in a crowd—does diversity facilitate persistence of a low-quality fungal partner in the mycorrhizal symbiosis?* Symbiosis. 215-226.
- Hart, M.; y Reader, R. (2002). *Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi*. New Phytol. 153, 335e344. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00312>.
- Helgason, T.; Daniell, T.J.; Marido, R.; Fitter, A.H.; Young, J.P. (1998). *Ploughing up the wood-wide web?* Nature. 394:431–431.
- Hernández, M. (2004). *Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosféricas como complemento de la nutrición mineral de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)*. Revista cultivos tropicales[en línea], julio 2004, vol. 25, núm. 2, 2004, pp. 5-12 Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. 2000.[Fecha de consulta: 10 de agosto de

2019]. ISSN: 0258-5936. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217832001> DB Redalyc.

- Herrera, R.; y Ferrer, R. (1984). *Glosario de términos en español relativos al estudio de las micorrizas vesículo-arbusculares*. Acta Botánica Cubana.
- Hernández, L.; Guadarrama, P.; Sánchez, I. y. Ramos, J. A. (2008). *Micorriza arbuscular. Colonización intrarradical y extracción de esporas del suelo*. In : Álvarez-Sánchez, J. y A. Monroy-Ata (Comps.). Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. Las Prensas de Ciencias-UNAM, México, D. F. México. pp. 1-16.
- Hodge, A. y Fitter, A. (2010). *Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling*. Department of Biology, University of York, York YO10 5YW, United Kingdom Edited by Sandra M. Díaz, Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal, Córdoba, Argentina, and approved June 9, 2010 (received for review April 28).
- Jackson, R. (2014). *Wine science: principle and applications*. Science, Elsevier.
- Jeffries, P. y Barea, J. (1993). *Arbuscular Mycorrhiza a key component of sustainable plant – soil ecosystems*. The mycota IX, fungal associations. Edition Hock. 113 p.
- Karandashov, V.; y Bucher, M. (2005). *Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas*. Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Institute of Plant Sciences, Experimental Station Eschikon 33, 8315 Lindau, Switzerland K. A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Botanicheskaya ul. 35, 127276 Moscow, Russia.
- Klironomos, J.; y Hart, M. (2002). *Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum*. Mycorrhiza. 12, 181-184.
- Koide, R.; y Mosse, B. (2004). *A history of research on arbuscular mycorrhiza*. Mycorrhiza. 14:145–163.
- Leifheit, E.; Veresoglou, S.; y Lehmann, A. (2014). *Multiple factors influence the role of arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregation – a meta-analysis*. Plant Soil, 374:523–537.
- Lekberg Y. y Koide R. (1988). *Blackwell Publishing, Ltd. Is plant performance limited by abundance of arbuscular mycorrhizal fungi? A meta-analysis of studies published between and 2003*.

- Li, L. F.; Li, T.; Zhang, Y. & Zhao, Z. W. (2010). *Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and their distribution patterns related to host-plants and habitats 75 in a hot and arid ecosystem, southwest China*. FEMS Microbiology Ecology. 71:418–427
- Lopez, A.; Hempel, S.; Mirandaet, J. D.; Rillig, M. C. (2013). *The influence of environmental degradation processes on the arbuscular mycorrhizal fungal community associated with yew (Taxus baccata L.), an endangered tree species from mediterranean ecosystems of southeast Spain*. Plant Soil 370:355–366 the arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota). Journal of two new species. Systematic Botany. 18 (4): 575 – 592.
- Manco, E. (2003). *Situación y avances del cultivo de sachá inchi en el Perú*. PRONIRGEB - INIEA. E. E. “El Provenir”, Juan Guerra, Tarapoto, 50 pp.
- Manco, E. (2004). “*Sachá Inchi, planta prometedora de la Amazonía Peruana*”, El Porvenir Agrario, INIEA – Tarapoto.
- Medina, V. (2017). *Biogeografía de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de café (Coffea arabica L.) en la región San Martín, Perú*. Tesis (Ingeniero agrónomo). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2017. 104 pp. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/855/TP_AGRO_00005_2017.pdf
- Montesinos, A.; Segarra, J. G.; Valiente, A.; Verdú, M. (2012). *The network structure of plant–arbuscular mycorrhizal fungi*. New Phytologist. 194(2), 536–547.
- Morton, J.; y Redecker, D. (2001). *Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera Archaeospora and Paraglomus, based on concordant molecular and morphological characters*, Mycologia, Vol. 93, pp. 181–195.
- Mozombite, S. H. (2017). “*Efecto de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos, sobre la dinámica poblacional del nemátodo del nudo (Meloidogyne incognita) en plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.)*”. Tesis (Ingeniero agrónomo). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, 2017. 94 pp.[Fecha de consulta: 15 de noviembre 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2843/AGRONOMIA%20-%20Hernan%20Mozombite%20Zatalaya.pdf>

- Munkvold, L.; Kjoller, R.; Vestberg, M.; Rosendahl, S. & Jakobsen, I. (2004). *High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi*. New Phytologist, 164:357–364.
- Öpik, M.; Metsis, M.; Daniell, T.J.; Zobel, M.; Moora, M. (2009). *Large-scale parallel 454 sequencing reveals host ecological group specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in a boreonemoral forest*. New Phytologist, 184, 424-437.
- Ordoñez, C. (2009). *Interacción sinérgica entre hongos formadores de micorrizas arbusculares - Pseudomonas fluorescens y su relación en la nutrición vegetal de fósforo*. Tesis de Maestría en Microbiología. Tesis (Magister en ciencias). Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Bogotá. 2009, 90 pp.[Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/8470/1/186275.2010.pdf>
- Parniske, M. (2008). *Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses*. Nature Review Microbiology, 6: 763-775.
- Paszkowski, U. (2006). *A journey through signaling in arbuscular mycorrhizal symbioses*. New Phytologist, 172(1): 35 – 46.
- Perez, A.; y Fuentes, J. (2009). *Regresión logística en la evaluación de la esporulación de micorrizas en pasto Bothriochloa pertusa (L) A. Camus*. Rev. Colombiana cienciaAnimal(1):118.[http://www.recia.edu.co/documentosrecia/4_Micorrizas_Perez &Fuentes.pdf](http://www.recia.edu.co/documentosrecia/4_Micorrizas_Perez&Fuentes.pdf).
- Pelczar, M.; y Chan E. (1984). *Elementos de Microbiología*.
- Phillips, J.; y Hayman, D. (1970). *Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection*. British Mycological Society Transactions, Cambridge, Grã-Bretanha,. V.55, n.1, p.158-160.
- Pozo, M. J.; López, J. A.; Azcón, C.; García, J. M. (2015). *Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses*. New Phytol, 205:1431–1436.
- Reyes, J. (2011). *La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizósfera: Comunidad microbiológica dinámica del suelo*. Departamento de Biología, División de CBS.UAM – Iztapalapa.

- Redecker, D.; y RAAB, P. (2006). *Phylogeny of the Glomeromycota (arbuscular mycorrhizal fungi): recent developments and new gene markers*. Mycologia, 98: 885-895.
- Redecker, D.; Schussler, A.; Stockinger, H.; Sturmer, S. L.; Morton, J. B. & Walker, C. (2013). *An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota)*. Mycorrhiza. 23: 515–531.
- Renison, D. I. Hensen y A. M. Cingolani. (2004). *Anthropogenic soil degradation affects seed viability in Polylepis australis mountain forests of central Argentina*. Forest Ecol. Manag. 196: 327-333.
- Sanders, I. R. (2004). *Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity: Are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques*. New Phytologist. 164: 415–418.
- Romero, C. (2018). *Efecto de especies de Hongos Micorrizicos Arbusculares en plántulas de Coffea arabica L., variedad caturra en condiciones de vivero en la región San Martín*. 2018. Tesis (Título de ingeniero agrónomo) Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, 71 pp. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3279/AGRONOMIA%20-%20Gbiel%20Romero%20Cachique.pdf>
- Schreiner, R. (2005). *Spatial and temporal variation of roots, arbuscular mycorrhizal fungi, and plant and soil nutrients in a mature pinot noir (Vitis vinifera L.) vineyard in Oregon, USA*. Plant Soil, 2005. 276:219–234.
- Robles, C., Robles, M.; y Monrroy, F. (2008). *Crecimiento y nutrición del maguey mezcalero (Agave angustifolia Haw.) bajo condiciones de micorrización arbuscular*.
- Schüssler, A., Schwarzott, D. y Walker, C. (2001). *A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution*. Mycological Research. 105, 1413–1421.
- Sharma, D., Kapoor, R. y Bhatnagar A. (2009). *Differential growth response of Curculigo orchoides to native arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities varying in number and fungal components*. European Journal of Soil Biology, 45: 328–333.
- Sieverding, E. (1984). *Vesicular Arbuscular Mycorrhizal in Tropical Agrosystems*. Federal Republic of Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 371 pp.

- Sieverding, E.; Friedrichsen, J.; y Suden, W. (1991). *Vesicular Arbuscular Mycorrhizae Management in Tropical Agroecosystems*. Federal Republic of Germany, Technical Cooperation, Eschborn.
- Simon, L.; Bousquet, R.; Levesque, R. C. & Lalone, M. (1993). Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*. 363:67–69.
- Siqueira, J., Hubbell, D. y Valle, R. (1984). *Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis*. *Pesq. Agropec. bras.* Brasília, 19(12):1465-74.
- Smith, S. E.; Facelli, E.; Suzanne, P.; Smith, F. A. (2010). *Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas*. *Plant Soil* 326:3–20.
- Smith, S. y Read, D. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, El seiver Edition. Third Edition. 10-90.
- Smith, S. y Read, D. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd ed. Academic, San Diego.
- Sonjak, S. (2009). *Temporal temperature gradient gel electrophoresis (TTGE) analysis of arbuscular mycorrhizal fungi associated with selected plants from saline and metal polluted environments*. *Plant and Soil*. 314, pp. 25-34.
- Spatafora, J. W., Chang, Y., Benny, G. L., Lazarus, K., Smith, M. E., Berbee, M. L., Bonito, G., Corradi, N., Grigoriev, I., Gryganskyi, A., James, T. Y., O'Donnell, K., Roberson, R. W., Taylor, T. N., Uehling, J., Vilgalys, R., White, M. M., & Stajich, J. E. (2016). *A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data*. *Mycologia*, 108(5), 1028–1046. <https://doi.org/10.3852/16-042>.
- Taiz, L.; y Zeiger, E. (2006). *Plant physiology*, USA.
- Tang, F., White J. y Charvat, I. (2001). The effect of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of typha angustifolia. En: *Mycologia*. V. 93, n.6, p. 1042.
- Tapia, G. (2010). *Identificación de hongos micorrizicos arbusculares aislados de suelos salinos y su eficiencia en plantas de lechuga*. Tesis (doctorado en biotecnología), Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 10:39 pp. [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018731802010000100010.

- Tena, S. (2002). *Presencia de HMA en plantas silvestres de suelos salinos en el estado de Colima*. Tesis de Maestría en Biotecnología. Tecomán – México.
- Trouvelot, A.; Kough, J; & Pearson, V. G. (1986). *Evaluation of VA infection levels in root systems. Research for estimation methods having a functional significance*. In: V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.), *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*. INRA Press, Paris, France: 217 – 221 pag.
- Trouvelot, S.; Bonneau, L.; Redecker, D.; Tuinen, D. V.; Adrian, M.; Wipf, Daniel. (2016). *Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review*. *Agron. Sustain. Dev.* 35:1449–1467.
- Vandenkoornhuyse, P.; Esposito, R.; Daniell, T.J.; Watson, I.J.; Pato, J.M.; Fitter, A.H.; Joven, J. P. W. (2002). *Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem*. *Mol Ecol.* 2002, 11(8), 1555-1564.
- Van der Heijden, M., Wiemken, A., y Sanders, I. (2003). *Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant*. *New Phytologist* 157:569-578.
- Van der Heijden, M. (1998). *Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity*. *Nature* 396: 69-72.
- Van der Heijden, M. (2015). *Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future*. *New Phytol.* 205:1406–1423.
- Varela, S. (2015). *The composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities differs among the roots, spores and extraradical mycelia associated with five Mediterranean plant species*. *Environ. Microbiol.* 17: 2882-2895.
- Vega, M. (2011). *Identificación de micorrizas vesícula – arbusculares en especies agrícolas y forestales en la zona de Tingo María*. Tesis (ingeniero agrónomo) – Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2011. 63 pp. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/137/AGR-581.pdf>
- Velázquez, M.; Cabello, M. y Barrera, M. (2013). *Composition and structure of arbuscular-mycorrhizal communities in El Palmar National P Park, Argentina*, *Mycologia* 105 509-520.
- Vogelsang, K.; Reynolds, H. y Bever, J. (2006). *Mycorrhizal fungal identity and richness determine the diversity and productivity of a tallgrass prairie system*. *New Phytol* 172: 554–562.

- Wright, D.; Scholes, J. y Read D. (1998). *Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of Trifolium repens L.* Plant, Cell & Environment 21: 209-216.
- Wilde, P.; Manal, A.; Stodden, M.; Sieverding, E.; Hildebrandt, U.; Bothe, H. (2009). *Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in roots and soils of two salt marshes.* Environmental Microbiology, v. 11, n. 06, p.1548–1561.
- Yao-hua, T.; Yan-bao, L.; Yu-Long, Zheng.; Cai, Z. Q. (2012). *Synergistic effect of colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves growth and drought tolerance of Plukenetia volubilis seedlings.* Franciszek Górski Institute of Plant Physiology, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Zhang, T.; Sun, Y.; Shi, Z.; & Feng, G. (2012). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi Can Accelerate the Restoration of Degraded Spring Grassland in Central Asia.* 2006.
- Zak, J.; Sinsabaugh, R. y MacKay, W. (1995). *Windows of opportunity in desert ecosystems: their implications to fungal development.* Can. J. Bot, 1407-1414.

Lincografía

1. Species 2000. Extraída el 15/05/19 desde: <http://www.species2000.org>
2. International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi INVAM. 2013. West Virginia University. Extraída el 25/5/19 desde: invam.wvu.edu.
Taxonomía of Arbuscular Fungi por Janusz Blaszowski. 2003. Extraída 27/8/19 desde: <http://www.zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Introduction.html>.
3. http://www.amf-phylogeny.com/amphylo_species.html. Extraída el 12/11/2019 desde <http://www.amf-phylogeny.com/>.