



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

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



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS**  
**A NIVEL PREGRADO 2019**



**Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la producción de *Plukenetia volubilis* L., en diferentes condiciones agroecológicas de la región de San Martín**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo**

**AUTOR:**

**Neizer Guadalupe Goñas**

**ASESOR:**

**Dr. Agustín Cerna Mendoza**

**CO - ASESOR:**

**Ing. M.Sc. Mike Anderson Corazón Guivin**

**Tarapoto – Perú**

**2021**


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**  
**CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS**  
**A NIVEL PREGRADO 2018**



**Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la producción de *Plukenetia volubilis* L., en diferentes condiciones agroecológicas de la región de San Martín**

**AUTOR:**  
**Neizer Guadalupe Goñas**

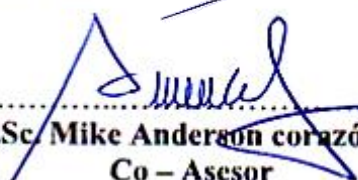
**Sustentada y aprobada el 25 de agosto del 2021, ante el honorable jurado:**

  
.....  
**Dr. Winston Franz Ríos Ruíz**  
**Presidente**

  
.....  
**Ing. M. Sc. Guillermo Vásquez Ramírez**  
**Secretario**

  
.....  
**Ing. María Emilia Ruíz Sánchez**  
**Miembro**

  
.....  
**Dr. Agustín Cerna Mendoza**  
**Asesor**

  
.....  
**Ing. M.Sc. Mike Anderson corazón Guivin**  
**Co - Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

**Neizer Guadalupe Goñas**, con DNI N° 74527228, egresado de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la producción de *Plukenetia volubilis* L., en diferentes condiciones agroecológicas de la región de 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, 25 de agosto del 2021.



.....  
**Bach. Neizer Guadalupe Goñas**  
DNI N° 74527228

**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:	Guadalupe Goñas Neizer	
Código de alumno :	74527228	Teléfono: 942876048
Correo electrónico :	nehysr.17@hotmail.com	DNI: 74527228

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

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ciencias Agrarias
Escuela Profesional de:	Agronomía

**3. Tipo de trabajo de investigación**

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

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título :	Efecto de hongos micorrízicos arbusculares sobre la producción de <i>Plukenetia volubilis</i> L., en diferentes condiciones agroecológicas en la región de San Martín.
Año de publicación:	2021

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(x)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – 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 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.

13 / 12 / 2021

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

.....  
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: Rosendo Guadalupe Diaz y Rosa Gilberta Goñas Huaman por el apoyo incondicional día a día, la confianza brindada durante este tiempo, para mantenerme firme en el camino del bien, así mismo a mis hermanos: Alcibiades, Magali, Keli, Witman y Robin, que con sus consejos me forjaron de valores y cumplir mis metas del cual me siento muy orgulloso.

A todos los miembros del Laboratorio de Biología y Genética Molecular- FCA-UNSM-T, por la confianza que me brindaron y por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gran familia, sus enseñanzas me ayudarán a mejorar y ser de éxito para la sociedad.

***Autor: Bach. Neizer Guadalupe Goñas.***

## **Agradecimiento**

A Dios por concederme y darme el privilegio de vivir esta grata experiencia, así poder finalizar satisfactoriamente un propósito más trazado en mi vida profesional.

A mis padres Rosendo Guadalupe Diaz y Rosa Gilberta Goñas Huaman, mis hermanos Alcibiades, Magali, Keli, Witman y Robin, mis cuñados (as) Joel, Katalina, Herless y Gladis, por el apoyo moral y espiritual que a diario me hacen llegar de una manera incondicional e infinita.

A la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto - Facultad de Ciencias Agrarias – Escuela Profesional de Agronomía, mi segunda casa que contribuyó en mi formación profesional, a través de sus docentes calificados que compartieron sus conocimientos.

A mi co-asesor Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazón Guivin, por brindarme parte de su tiempo y por compartir sus conocimientos a través de las enseñanzas durante el desarrollo de la tesis.

A mi asesor Dr. Agustín Cerna Mendoza, por ser un excelente docente, un gran amigo y por todo el apoyo, las enseñanzas otorgadas de principio a fin durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A mis amigos en especial Elizabeth Mirez F., Xina Velasquez C., Oscar Zamora P., Denis Tocto C., Jeferson Alfaro O., Adam Torres M., Romario Rojas M., porque día a día me transmitieron esas fuerzas y apoyo moral para seguir adelante.

***Autor: Bach. Neizer Guadalupe Goñas.***



## Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de tablas .....	xi
Índice de figuras .....	xiii
Lista de siglas o abreviaturas .....	xv
Resumen .....	xvi
Abstract.....	xvii
Introducción.....	1
CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1. Antecedentes de la investigación.....	3
1.2. Generalidades del cultivo de Sacha Inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.).....	5
1.2.1. Origen y distribución.....	5
1.2.2. Clasificación taxonómica. ....	5
1.2.3. Morfología.....	6
1.2.4. Características botánicas. ....	6
1.3. Hongos Micorrízicos Arbusculares .....	7
1.3.1. Estructuras de los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA). ....	8
1.3.2. Colonización de los Hongos Micorrízicos Arbusculares. ....	9
1.3.3. Nutrición y el crecimiento de las plantas. ....	10
1.3.4. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés abiótico en plantas. ....	11
1.3.5. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés biótico en plantas.....	12
1.4. Interacción entre el sachá inchi y las micorrizas .....	12
1.5. Ventajas y beneficios de la colonización de HMA .....	13
CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODOS .....	14
2.1. Tipo y nivel de investigación .....	14
2.1.1. Tipo de investigación. ....	14
2.1.2. Nivel de investigación.....	14
2.2. Diseño de investigación.....	14
2.3. Población y muestra .....	14

2.3.1. Población.....	14
2.3.2. Muestra.....	14
2.4. Sistema de hipótesis .....	15
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	15
2.5.1. Técnicas.....	15
2.5.2. Instrumentos.....	15
2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	15
2.7. Métodos. ....	17
2.7.1. Área de estudio.....	17
2.7.2. Colecta de semillas de sachá inchi. ....	18
2.7.3. Colecta y esterilización de sustrato estéril (suelo agrícola y arena).....	18
2.7.4. Obtención de fuente de inóculo de consorcios de HMA.....	18
2.7.5. Aislamiento de esporas de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos ....	19
2.7.6. Identificación y validación de consorcios micorrízicos. ....	19
2.7.7. Inoculación con consorcios micorrízicos a plantas de sachá inchi .....	20
2.7.8. Traslado y siembras de plantas de sachá inchi en campo definitivo.....	21
2.7.9. Variables evaluadas.....	22
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
3.1. Análisis físico – químico del suelo.....	26
3.2. Identificación de consorcios micorrízicos de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) .....	28
3.3. Parámetros morfo – fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de vivero.....	31
3.3.1. Altura de plantas (cm).....	31
3.3.2. Diámetro de tallo (mm).....	32
3.3.3. Área foliar (cm <sup>2</sup> ). ....	33
3.3.4. Número de hojas. ....	35
3.3.5. Peso fresco total de plantas. ....	36
3.3.6. Peso seco total de plantas. ....	37
3.3.7. Contenido de clorofila.....	38
3.3.8. Colonización radicular. ....	40
3.3.9. Discusión general de los parámetros morfo – fisiológicos .....	41

3.4. Parámetros morfológicos y fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo.....	44
3.4.1. Diámetro del tallo (mm) de sachá inchi, de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo.....	44
3.4.2. Contenido de clorofila (SPAD) de sachá inchi, de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo.....	48
3.4.3. Discusión general de los parámetros morfológicos y fisiológicos de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo .....	53
3.5. Parámetros productivos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo .....	54
3.5.1. Parcelas de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo. ....	54
3.5.2. Discusión general de los parámetros productivos de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo .....	62
3.6. Parámetros biológicos en plantas de sachá inchi en condiciones de campo .....	64
3.6.1. Parcelas de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo.....	66
3.6.2. Discusión general de los parámetros biológicos de las cuatro localidades de la región de San Martín, en condiciones de campo.....	71
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	76

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> <i>Descripción de tratamientos en estudio para el ensayo 1, realizado en condiciones de vivero.....</i>	16
<b>Tabla 2:</b> <i>Descripción de tratamientos en estudio para el ensayo 2, realizado en condiciones de campo definitivo.....</i>	17
<b>Tabla 3:</b> <i>Ubicación de la instalación de las parcelas de experimento en la región de San Martín.....</i>	17
<b>Tabla 4:</b> <i>Análisis de suelo de los parámetros físicos y químicos de las localidades de Huañipo, Palmiche, Dos de Mayo y Santa Rosa, donde se ejecuto el estudio. Laboratorio de suelos y aguas. ....</i>	26
<b>Tabla 5:</b> <i>Descripción de consorcios micorrízicos arbusculares, utilizados como fuente de inóculo en plantas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.). ....</i>	29
<b>Tabla 6:</b> <i>ANVA de la altura de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.....</i>	31
<b>Tabla 7:</b> <i>ANVA de diámetro de tallo (mm) de las plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.....</i>	32
<b>Tabla 8:</b> <i>ANVA de área foliar (cm<sup>2</sup>) de hojas en plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.....</i>	34
<b>Tabla 9:</b> <i>ANVA del número de hojas en plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.....</i>	35
<b>Tabla 10:</b> <i>ANVA del peso fresco total (g) de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.....</i>	36
<b>Tabla 11:</b> <i>ANVA del peso seco total de biomasa (g) de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.. ....</i>	37
<b>Tabla 12:</b> <i>ANVA del contenido de clorofila de las hojas de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero. ....</i>	39
<b>Tabla 13:</b> <i>ANVA del porcentaje de colonización radicular – raíz (%) de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.....</i>	40

<b>Tabla 14:</b> ANVA del diámetro de tallo (mm) de las plantas de <i>sacha inchi</i> evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo, de las cuatro localidades de la región de San Martín.....	45
<b>Tabla 15:</b> ANVA del contenido de clorofila de las hojas de plantas de <i>sacha inchi</i> ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo de las cuatro localidades de la región de San Martín. ....	49
<b>Tabla 16:</b> ANVA de los sub-indicadores de rendimiento de producción de plantas de <i>sacha inchi</i> , evaluados durante siete fechas en condiciones de campo, en las cuatro localidades de la región de San Martín.. ....	55
<b>Tabla 17:</b> ANVA de los indicadores biológicos en plantas de <i>sacha inchi</i> , evaluados al término del experimento, en condiciones de campo, en las cuatro localidades de la región de San Martín. ....	64

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Consorcios micorrízicos de HMA. ....	19
<b>Figura 2:</b> Siembra de plántulas de sachá inchi, en las cuatro localidades de la región de San Martín. A) Provincia El Dorado – localidad de Santa Rosa. B) Provincia de Bellavista - localidad de Dos de Mayo. C) Provincia de Lamas - localidad de Palmiche. D) Provincia de Picota - localida de Huañipo.....	21
<b>Figura 3:</b> Evaluación del diámetro del tallo, en condiciones de campo. ....	22
<b>Figura 4:</b> Evaluación del contenido de clorofila, en condiciones de campo. ....	23
<b>Figura 5:</b> Altura de plántulas (cm) de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) medido a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.....	31
<b>Figura 6:</b> Diámetro de tallo (mm) de las plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condicion de vivero.....	33
<b>Figura 7:</b> Area foliar (cm <sup>2</sup> ) en plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a los 45 días después de la iniculacion final, en condicion de vivero.. ....	34
<b>Figura 8:</b> Número de hojas en plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condicion de vivero.. ....	35
<b>Figura 9:</b> Peso fresco total (g) de plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condicion de vivero.. ....	36
<b>Figura 10:</b> Peso seco total de biomasa (g) de plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación final, en condicion de vivero.....	38
<b>Figura 11:</b> Contenido de clorofila (SPAD) de las hojas de plántulas de sachá inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> L.) evaluado a 45 días después de la inoculación inicial, en condicion de vivero. ....	39

- Figura 12:** Porcentaje de colonización radicular – raíz (%) de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.....40
- Figura 13:** Diámetro de tallo (mm) de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), medido en intervalo de 15 días después de 315 d.d.s, en condiciones de campo, se determinaron con HSD de Tukey ( $p<0,05$ ). A) Grafico de la provincia de Picota – Huañipo, B) Grafico de la provincia de Lamas – Palmiche, C) Grafico de la provincia de Bellavista – Dos de Mayo, D) Grafico de la provincia El Dorado – Santa Rosa.....46
- Figura 14:** Contenido de clorofila (SPAD) de hojas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados en intervalo de 15 días después de 315 d.d.s en condiciones de campo, se determinaron con HSD de Tukey ( $p<0,05$ ). A) Grafico de la provincia de Picota – Huañipo, B) Grafico de la provincia de Lamas – Palmiche, C) Grafico de la provincia de Bellavista – Dos de Mayo, D) Grafico de la provincia El Dorado – Santa Rosa.....50
- Figura 15:** Rendimiento de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados secuencialmente (cada 15 días) en las cuatro localidades de la región San Martín, en condiciones de campo, con HSD de Tukey ( $p<0,05$ ).....61
- Figura 16:** Parametros para la riqueza biológica (Colonizacion micorrizicas radicular %, Numero total de esporas de HMA) en plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados al término del experimento en las cuatro localidades de la región San Martín, en condiciones de campo, determinaron con HSD de Tukey ( $p<0,05$ ).....70

## Lista de siglas o abreviaturas

<b>HMA</b>	: Hongos Micorrízicos Arbusculares.
<b>CHMA</b>	: Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares.
<b>DDI</b>	: Días Después de la Inoculación.
<b>DCA</b>	: Diseño Completamente al Azar.
<b>DBCA</b>	: Diseño de Bloques Completamente al Azar.
<b>sp.</b>	: Varias especies del género.
<b>spp.</b>	: Una especie del género.
<b>NaCl</b>	: Hipoclorito de Sodio.
<b>RPM</b>	: Revoluciones Por Minuto.
<b>ANVA</b>	: Análisis de Varianza.
<b>ADE</b>	: Agua Destilada Estéril.
<b>LBGM</b>	: Laboratorio de Biología y Genética Molecular.
<b>FCA</b>	: Facultad de Ciencias Agrarias.
<b>UNSM-T</b>	: Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.



## Resumen

Los Consorcios de Hongos Micorrizicos Arbusculares (CHMA) nativos, aislados de campos sacha incheros de la región San Martín e inoculados previamente en plántulas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en condiciones de vivero, conllevó a que se obtengan plántulas con buen comportamiento morfo-fisiológico, siendo una estrategia valiosa para una alta supervivencia y crecimiento en campo definitivo, además, una combinación de hongos micorrízicos es más eficaz que un inóculo monoespecífico. En este contexto, la investigación se centró en estudiar plantas de sacha inchi previamente inoculadas con especies micorrízicas, y sembradas en campo definitivo en las 4 localidades pertenecientes a 4 provincias de la región, como son: Provincia de Picota (Localidad de Huañipo), provincia de Lamas (Localidad de Palmiche), provincia de Bellavista (Localidad de Dos de Mayo) y provincia El Dorado (Localidad de Santa Rosa), evaluando parámetros morfo – fisiológicos como: diámetro del tallo, contenido de clorofila, parámetros de producción como: número de capsula cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por cápsula, peso de semillas y parámetros biológicos como: porcentaje de colonización micorrízica y número de esporas. Se obtuvo diferencias significativas, al comparar las plantas de los consorcios micorrízicos inoculados con las plantas del control sin micorrizas, siendo tendencia en todas las localidades y en cada uno de los parámetros evaluados, sin embargo, se resalta la presencia de comunidades micorrízicas naturales del medio, quienes de una u otra manera interactuaron con las plantas de sacha inchi, se encontró resultados superiores en el porcentaje de colonización micorrízica y número de esporas (control), comparado de los consorcios, de las localidades de Palmiche y Santa Rosa.

**Palabras clave:** Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares (CHMA), parámetros morfo – fisiológicos, parámetros de producción, parámetros biológicos.

## Abstract

The Consortia of native Arbuscular Mycorrhizal Fungi (CHMA), isolated from sacha inchi fields in the San Martin region and previously inoculated in sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seedlings, under nursery conditions, led to obtain seedlings with good morpho-physiological behavior, being a valuable strategy for high survival and growth in the final field. In addition, a combination of mycorrhizal fungi is more effective than a monospecific inoculum. In this context, the research focused on studying sacha inchi plants previously inoculated with mycorrhizal species, and planted in definitive field in the 4 localities belonging to 4 provinces of the region, as follows: Picota province (Huañipo locality), Lamas province (Palmiche locality), Bellavista province (Dos de Mayo locality) and El Dorado province (Santa Rosa locality) evaluating morpho-physiological parameters such as: stem diameter, chlorophyll content, production parameters such as: number of capsules harvested, weight of capsules harvested, number of seeds per capsule, weight of seeds and biological parameters such as: percentage of mycorrhizal colonization and number of spores. Significant differences were obtained when comparing the inoculated mycorrhizal consortia plants with the control plants without mycorrhizae, with a tendency in all locations and in each of the parameters evaluated; however, the presence of natural mycorrhizal communities in the environment, who in one way or another interacted with the sacha inchi plants, superior results were found in the percentage of mycorrhizal colonization and number of spores (control), compared to the consortia in the Palmiche and Santa Rosa localities.

**Key words:** Consortia of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), morpho-physiological parameters, production parameters, biological parameters.



## Introducción

Las semillas de *Plukenetia volubilis* L. son de gran interés debido a su alto contenido de aceite (35-60%), que contiene niveles elevados de ácidos linolénico y linoleico, y por lo tanto tiene un gran potencial para aplicaciones en las industrias alimentarias y farmacéuticas, estos ácidos alcanzan aproximadamente 45% y 35% de ácidos totales grasos (AG) (Gutiérrez *et al.*, 2011). Los hongos *Glomeromycota*, son un componente importante de los ecosistemas porque forman una micorriza arbuscular, el tipo más extendido de simbiosis en el reino vegetal (Schüssler *et al.* 2001). En condiciones naturales, las plantas son colonizadas por comunidades de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA), cuya diversidad e identidad influyen en la estructura y el funcionamiento de las comunidades vegetales (Van Der Heijden *et al.* 1998).

En este sentido, se considera un gran estudio, el comportamiento de consorcios HMA inoculados primero en vivero y luego trasladados a condiciones de campo definitivo, sabiendo de su gran capacidad de establecer simbiosis con un amplio rango de especies vegetales, además de considerar los factores bióticos, abióticos y edafo – climáticos del ambiente natural que interfieren al momento de la interacción hongo – planta, resulta interesante estudiar el comportamiento morfo – fisiológico de plantas de sachá inchi en condiciones no controladas de campo, y si el establecimiento de estos consorcios adaptados y multiplicados en condiciones de vivero (cama de multiplicación y bolsas almacigueras) perdura con el tiempo, interactuando con la biología natural del suelo, en cuatro parcelas instaladas por provincia en la Región de San Martín.

En la presente investigación se evaluó el comportamiento morfológico, fisiológico, ecológico y productivo de plantas de sachá inchi, mediante la instalación de parcelas experimentales, en las provincias de Picota; localidad de Huañipo, Lamas, localidad de Palmiche; Bellavista, localidad de Dos de Mayo y El Dorado, localidad de Santa Rosa, de la región San Martín.

El Objetivo general del presente trabajo, fue determinar el efecto de la inoculación con Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares (CHMA) nativos, sobre la producción de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en diferentes condiciones agroecológicas en la región de San Martín. Además, se tuvo los siguientes objetivos específicos:

- a. Evaluar en vivero, la inoculación inicial con los Consorcio de hongos Arbusculares (CHMA) nativos y aclimatación de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).
- b. Evaluar en campo, el efecto de la inoculación inicial a plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) con los Consorcio de hongos Arbusculares (CHMA) nativos, sobre el rendimiento de la producción, en diferentes condiciones agroecológicas en la región de San Martín.
- c. Evaluar en campo, el efecto de la inoculación inicial a plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) con CHMA nativos, sobre la colonización micorrízica, en diferentes condiciones agroecológicas en la región de San Martín.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) juegan un papel muy importante en las plantas, ya que se conoce que más del 90% de ellas forman este tipo de asociación simbiótica (Smith y Read, 2008). En México se han registrado 95 especies de HMA, correspondiendo al 41% de las especies conocidas mundialmente (Montaño *et al.* 2012). (Van Der Heijden *et al.* 1998), mencionan que las diversidades de HMA causan diferentes efectos sobre el crecimiento de las especies vegetales, pudiendo promover un aumento en la productividad de su hospedero en un determinado ecosistema. Así mismo, bajo ciertas condiciones edafoclimáticas, algunos hongos pueden beneficiar en mayor grado a un determinado hospedero (McGonigle y Fitter, 1990; Rodríguez *et al.* 2004). Esto conlleva a tener plantas mejor favorecidas nutricionalmente, ya que serán más resistentes el estrés ambiental o fisiológico que pueda generar el medio en donde se desarrolla (Salam *et al.* 2017), por ejemplo, (Ortas, 2010), trabajó con Pepino inoculado con HMA, con cultivos puros como *Glomus mosseae* y *Glomus etunicatum* y nativos como *G. mosseae*, *G. etunicatum*, *Glomus clarum*, *Glomus caledonium* y una mezcla de estas cuatro especies, evaluó parámetros de rendimiento en frutos del cultivo y la colonización micorrízica de la raíz, demostrando que la inoculación de HMA aumentó significativamente la producción de frutos y el establecimiento de la simbiosis en la raíz, dando como resultado un mayor crecimiento de las plantas y un aumento de la cosecha. Una leguminosa como *Medicago truncatula*, que es utilizada como forraje, fue estudiada interactuando con una especie micorrízica altamente simbiote, *Rhizophagus irregularis*, teniendo como objetivo investigar el efecto de esta micorriza sobre el crecimiento de las plantas y las interacciones con la disponibilidad de fósforo (P) y zinc (Zn) del suelo, el autor demostró que las respuestas de crecimiento a las micorrizas cambian durante la vida de la planta y dependen en gran medida de la disponibilidad de P en el suelo (Tran *et al.* 2020).

Trabajos de investigación reportan la importancia de las micorrizas en diferentes cultivos como *Solanum lycopersicum* L. (Bona *et al.* 2016), *Sorghum bicolor* L. Moench (Nakmee *et al.* 2016), *Piper longum* L. (Gogoi, 2011), *Phaseolus vulgaris* L. (Ibijbijen *et*

al. 1996), y algunos frutos libres como *Musa acuminata* Colla (Rodríguez-Romero *et al.* 2005), teniendo como resultado común mejorar el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes importantes como el nitrógeno y el fósforo, especialmente en condiciones de estrés (Jansa *et al.* 2019; Song *et al.* 2020). Esta estimulación del crecimiento de la planta hospedante está relacionada con el hecho de que los HMA extienden la red de absorción más allá de las zonas de agotamiento de nutrientes de la rizosfera, lo que permite el acceso a un mayor volumen de suelo (Smith y Smith, 2011). Además, las hifas de los hongos son mucho más delgadas que las raíces y pueden penetrar poros más pequeños y absorber más nutrientes (Allen, 2011).

Son muchos trabajos de investigación relacionados a la interacción de micorrizas con cultivos de importancia agrícola, como ya se han reportado anteriormente, todo este tema de importancia no es ajeno a la región San Martín, lo cual ha llevado a investigar los HMA, siendo principalmente, trabajos en fases de adaptación de vivero los estudios embarcados con inoculación micorrízica, como en sachá inchi (Mozombite, 2017; Orbe, 2019), café (Del Águila, 2016; Espinoza, 2018; Romero, 2018; Saboya, 2019) y leguminosas (Rios *et al.* 2019). La Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto (UNSM – T), por medio del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM) de la FCA, desde el 2016 viene realizando la colecta y multiplicación de HMA nativos, que fueron aislados a partir de suelo rizosférico de plantaciones de sachá inchi y café en distintas localidades de la región San Martín (principalmente, provincias adyacentes a Tarapoto). Estos microorganismos actualmente se encuentran conservados en el Banco de Germoplasma de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos del LBGM. En el año 2017 se iniciaron los primeros bio-ensayos utilizando estos microorganismos para inocular plántulas de sachá inchi y evaluar el efecto BIOPROTECTOR y BIOFERTILIZANTE ante la presencia de nematodos del nódulo (*Meloidogyne incognita*) bajo condiciones controladas de vivero. Los resultados mostraron una alta interacción simbiótica entre estos microorganismos y el sistema radicular de plántulas de sachá inchi con porcentajes de colonización superiores al 80% en todos los tratamientos inoculados. Así mismo, se observó una mayor área foliar, mayor tamaño de planta, mayor contenido de clorofila y menor grado de infestación por nematodos en todos los tratamientos inoculados en comparación con el control sin inocular. Lo que hace suponer que, plántulas de sachá inchi previamente inoculadas y adaptadas a condiciones de vivero, tendrán mejores expectativas de sobrevivencia, crecimiento y desarrollo en campo definitivo, eh allí la importancia del presente estudio de investigación.

## 1.2. Generalidades del cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

### 1.2.1. Origen y distribución.

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), fue descrito por Linneo en 1753, clasificándolo dentro de la familia Euphorbiaceae. La familia comprende plantas anuales, de importancia ornamental, medicinal, alimenticia e industrial, que se caracterizan principalmente por la presencia de una sustancia lechosa, tipo látex y frutos tricapsulares (Aceituno, 2005).

Es una especie propia de la Amazonía Peruana y se encuentra distribuida en las regiones de Loreto, San Martín, Amazonas, Junín, Ucayali, Madre de Dios y el Cuzco, registrándose especies como: *Plukenetia volubilis* L., *P. lorentensis* Ulei, *P. brachybotrya* M. Arg (Galluser, 2005).

### 1.2.2. Clasificación taxonómica.

Gillespie (1993), lo clasifica de la siguiente manera:

Reino	: Plantae
Subreino	: Fanerogama
Clase	: Magnoliopsida
Subclase	: Rosidae
Orden	: Euphorbiales
Familia	: Euphorbiaceae
Subfamilia	: Alcalyphoideae
Tribu	: Plukenetieae
Subtribu	: Plukenetiinae
Género	: <i>Plukenetia</i>
Especie	: <i>Plukenetia volubilis</i> L.

### 1.2.3. Morfología.

Sacha inchi es una planta trepadora, arbustiva, semileñosa, de altura indeterminada; presenta hojas alternas, color verde oscuro, oval - elípticas, aseruladas y pinnitinervias, de 09 – 16 cm de largo y 06 – 10 cm ancho. El ápice es puntiagudo y la base es plana o semiarriñonada. Presenta inflorescencias hermafroditas constituidas de flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas estaminadas dispuestas en racimos, son pequeñas y blanquecinas de forma cónica; las flores femeninas están dispuestas en la base del racimo, pudiéndose observar de una a dos flores femeninas por inflorescencia. Los frutos son cápsulas de 3,5 a 4,5 cm de diámetro, constituidos generalmente por 04 lóbulos aristados (excepcionalmente con 5 a 7); cada lóbulo contiene una semilla ovalada de diámetro entre 1,3 y 2,1 cm, es de color marrón oscuro, ligeramente abultada en el centro y aplastada hacia el borde (Gillespie, 1993).

### 1.2.4. Características botánicas.

Manco (2007), menciona las siguientes características botánicas:

- Tallo: Es una planta trepadora, voluble, semileñosa y perenne, de altura indeterminada, tiene una forma cilíndrica.
- Hojas: Presenta hojas alternas, de forma acorazonada de 10 a 12 cm. de largo y de 8 a 10 cm. de ancho, con pecíolos de 2 a 6 cm. de largo. Las nervaduras nacen en la base y la nervadura central orientándose al ápice, son de color verde oscuro, oval elípticas, aseruladas y pinnitinervias, el ápice es puntiagudo y la base es plana o semi-arriñonada.
- Flores: Tiene flores hermafroditas, monoicas, las flores masculinas son pequeñas, blanquecinas y dispuestos en racimos. La flor masculina es pequeña, blanquecina y dispuesta en racimo. La flor femenina, se encuentran en la base del racimo y ubicada lateralmente de una a dos flores.
- Frutos: Son en forma de capsulas dehiscentes y generalmente formado por cuatro capsulas, algunos ecotipos presentan hasta cinco a siete capsulas.
- Raíz: Son superficiales de varios metros de largo.
- Semillas: Son marrones con manchas irregulares más oscuras, de forma ovaladas, de 1.5 a 2 cm de diámetro; ligeramente abultadas en el centro y



aplastadas hacia los bordes. Al abrir las semillas se encuentran los cotiledones a manera de almendras cubiertas de una película blanquecina.

- Pureza física: La pureza física es de 98%.
- Porcentaje de Germinación: Es del 99%.
- Periodo Vegetativo de 5 a 10 meses.

### 1.3. Hongos Micorrízicos Arbusculares

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo que forman una relación simbiótica con el 80-90% de las especies de plantas vasculares y el 90% de las plantas agrícolas (Smith y Read, 2010), incluida la mayoría de los cultivos agrícolas, en particular cereales, hortalizas y plantas hortícolas. Tienen una distribución ubicua en ecosistemas globales que se definen principalmente por la distribución global de plantas hospedantes conocidas (Kivlin *et al.* 2011). Morton y Benny (1990), mencionan que durante muchos años los HMA se ubicaron en el orden Endogonales junto al género no micorrízico *Endogone*, sin embargo, mediante características filogenéticas, se estableció que su condición simbiótica constituía criterios suficientes para agruparlos en un taxón particular, lo cual dio origen al orden Glomales y a un re-arreglo de familias, clasificando a las micorrizas en la división Eumycota, clase Zygomycetes, orden Glomales, suborden Glominaceae y Gigasporaceae con las siguientes familias y géneros: Glomaceae (*Glomus* y *Sclerocystis*), Acaulosporaceae (*Acaulospora* y *Entrophospora*), Gigasporaceae (*Gigaspora* y *Scutellospora*), Archaeosporaceae (*Archaeospora*), Paraglomaceae (*Paraglomus*). Son simbioses obligados que dependen de los sustratos de carbono proporcionados por sus plantas hospedadoras (hasta un 20% del carbono fijado por la planta) para sobrevivir (Siddiqui *et al.* 2008). A cambio, los hongos mejoran el suministro de agua y nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, a la planta huésped a través de hifas extrarradicales e intrarradicales, arbuscúlos y la interfaz del apoplasto de la raíz (Parniske, 2008). Basado en registros fósiles y datos moleculares, esta simbiosis se remonta a la primera aparición de plantas terrestres, hace unos 400 a 450 millones de años (Smith y Read, 2010).

A nivel de géneros, la taxonomía de estos hongos se fundamenta en características tales como formación y morfología de las esporas, modo de germinación y morfología del esporocarpio, otros caracteres como apariencia de las esporas (color, contenido, grosor de la pared, ornamentación y tipo de conexión entre las hifas), murografías (diagramas que

ilustran la estructura de la pared de la espora y anatomía de la infección del hongo), se usan para la taxonomía a nivel de especies (Schenck y Pérez, 1990).

### **1.3.1. Estructuras de los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA).**

#### ***a. Esporas.***

Las esporas son la forma de conservación de los HMA en la naturaleza, aunque el ciclo de vida de los HMA se puede iniciar de otros propágulos como redes de micelio y fragmentos de raíces colonizadas (Ordoñez, 2009); las esporas son más resistentes a las condiciones medioambientales y pueden entrar en latencia, mediante el engrosamiento de su pared, si éstas son desfavorables (Giovannetti y Gianinazzi-Pearson, 1994). En su mayoría, son de forma globosa (esférica) pero algunas especies tienen esporas ovaladas u oblongas; de ellas se desprende una hifa de sustentación que en conjunto dan la apariencia de un globo con su hilo colgando. Las esporas son de diferentes colores: blancas, amarillas, pardas, etc. y su tamaño puede variar de 20 a 50  $\mu\text{m}$ , y en las más grandes de 200 a 1000  $\mu\text{m}$ .

#### ***b. Micelio extra radical de los HMA.***

Ante el establecimiento de la simbiosis, el hongo coloniza la corteza de la raíz, y también desarrolla un extenso micelio externo que simula un sistema radical complementario y altamente efectivo, ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales y agua del suelo. A su vez, la planta hospedadora le proporciona al hongo fuentes de carbono procedentes de la fotosíntesis y un nicho ecológico protegido (Smith y Read, 2008). Este micelio externo funciona como un sistema radical complementario que se extiende más allá de la zona de agotamiento de nutrientes cercana a la raíz (Bucher, 2006). Su función es la búsqueda, absorción y transporte de nutrientes para la planta, especialmente aquellos de lenta difusión en la solución del suelo como son el fósforo, zinc, cobre y amonio (Hernández *et al.* 2008).

#### ***c. Arbúsculos.***

Los arbúsculos son hifas modificadas y se consideran la estructura central de la simbiosis micorrízica arbuscular, pues juegan un papel crucial en las principales funciones de la interacción, el mejoramiento de la nutrición de la planta y el biocontrol de patógenos del suelo (Franken, *et al.* 2007). Normalmente los arbúsculos tienen un tiempo de vida corto, de 4 a 10 días, después de los cuales se degeneran y son digeridos por la célula hospedadora que vuelve a recuperar su apariencia y su función normal (Giovannetti y Gianinazzi-Pearson, 1994).

**d. Vesículas.**

Al mismo tiempo, o poco después de que se formen los arbusculos, algunas especies de hongos micorrízicos arbusculares forman vesículas intra y/o intercelulares. Las vesículas, son estructuras de forma diversa según la especie (redondeadas, ovoides, etc.) y de paredes finas que se producen por el hinchamiento terminal de las hifas. Estas estructuras almacenan gran cantidad de lípidos y actúan como órgano de reserva del hongo en situaciones de estrés, como es la falta de carbohidratos (Smith y Read, 2008).

**1.3.2. Colonización de los Hongos Micorrízicos Arbusculares.**

La simbiosis de HMA con plantas se había informado hace 400 millones de años (Selosse *et al.* 2015). Estos tipos de vínculos se establecen como una sucesión de procesos biológicos, que conducen a una variedad de efectos útiles tanto en el ecosistema natural como en las biotas agrícolas (Van der Heijden *et al.* 2015). Esta simbiosis es probablemente la interacción beneficiosa más extendida entre plantas y microorganismos (Parniske, 2008). Varios estudios han informado que juegan un papel crucial en la nutrición y el crecimiento de las plantas en condiciones de estrés y mejoran una serie de procesos esenciales del ecosistema (Nakmee *et al.* 2016). Los HMA se consideran reguladores naturales del crecimiento de la mayoría de la flora terrestre. Se utilizan como bioinoculantes y los investigadores fomentan su uso como biofertilizantes destacados en la productividad sostenible de los cultivos (Barrow, 2012). Además, el suelo inoculado con HMA forma masas más constantes y micelio hifal extra-radical significativamente más alto que los suelos no tratados con HMA (Syamsiyah *et al.* 2018). Se encontró en condiciones controladas de invernadero, que los consorcios micorrízicos arbusculares incrementaron la altura de plantas de café en 91% con respecto a plantas no inoculadas y a plantas fertilizadas con fósforo (Trejo *et al.* 2011). Franco (2008), menciona que hay varias etapas en el proceso de colonización de la micorriza a una raíz de una planta, que van desde la diferenciación de la espora, propagación del hongo e identificación mutua entre la planta y el hongo hasta la colonización, produciéndose cambios morfológicos y estructurales tanto en los tejidos colonizados por el hongo, como en la organización de la pared celular de la raíz.

Luego de haberse formado la micorriza, el hongo empieza a colonizar el interior de su hospedante formando hifas intraradicales, arbusculos y vesículas; existen varios métodos que ayudan a determinar el porcentaje de colonización de los HMA, siendo

uno de ellos el método de (Trouvelot *et al.* 1986), que es la densidad visual de la ocupación de las estructuras del hongo en la raíz del macrosimbionte (Grace y Stribley, 1991). Sin embargo, el porcentaje de la colonización por HMA en las raíces del hospedante no determina la efectividad de los mismos. A pesar de que el porcentaje de colonización no representa la efectividad de la simbiosis entre los HMA y las plantas, su determinación permite conocer y cuantificar visualmente las estructuras de los HMA que se forman a nivel intraradical (Grace y Stribley, 1991).

### **1.3.3. Nutrición y el crecimiento de las plantas.**

Se cree que la proteína del suelo relacionada con la glomalina mantiene el contenido de agua en los suelos expuestos a diferentes tensiones abióticas (Wu *et al.* 2014), que luego regula la frecuencia del agua entre el suelo y las plantas, desencadenando automáticamente el desarrollo de las plantas. Glomalin contiene 30-40% de C y sus compuestos relacionados que protegen el suelo de la desecación al mejorar la capacidad de retención de agua del suelo (Sharma *et al.* 2017). Al extender el área de absorción de las raíces, los HMA aumentan la superficie de absorción total de las plantas inoculadas y así mejoran el acceso de las plantas a los nutrientes, particularmente aquellas cuyas formas iónicas tienen una baja tasa de movilidad o aquellas que están presentes en baja concentración en la solución del suelo (Smith y Read, 2010). También producen estructuras fúngicas como arbuscúlos, que ayudan en el intercambio de minerales inorgánicos y los compuestos de carbono y fósforo, lo que finalmente imparte un vigor considerable a las plantas hospedadoras (Li *et al.* 2016). Además, la HMA contribuye aproximadamente con un 20% a la absorción total de agua de la planta (Ruth *et al.* 2011), destacando el papel de la simbiosis en el estado hídrico de las plantas hospedantes. Sin embargo, la absorción de macronutrientes y micronutrientes podría depender en parte no solo de otro hongo sino también de la planta huésped (Trouvelot *et al.* 2015). Por lo tanto, se cree ampliamente que los HMA podrían considerarse como un reemplazo de fertilizantes inorgánicos en el futuro cercano, porque la aplicación de micorrizas puede reducir efectivamente el uso cuantitativo de fertilizantes químicos, especialmente fósforo (Ortas, 2012). El uso continuo de fertilizantes, herbicidas y fungicidas inorgánicos ha causado varios problemas al suelo, las plantas y la salud humana, a través de su impacto dañino en la calidad de los productos alimenticios, la salud del suelo y los sistemas de aire y agua (Yang *et al.* 2004).

#### **1.3.4. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés abiótico en plantas.**

Los HMA responden de manera diferente a las tensiones abióticas, como la sequía, las inundaciones, las temperaturas extremas, la salinidad y los metales pesados (Lenoir *et al.* 2016). Estos estreses reducen la diversidad de HMA y alteran la composición de la comunidad de HMA, lo que da como resultado una comunidad de HMA con una mayor proporción de especies que son fenotípicamente similares, porque son más tolerantes a ese estrés abiótico específico. Los cambios en la diversidad de HMA se retroalimentarán en la comunidad vegetal y provocarán los cambios correspondientes en la diversidad de especies vegetales y la productividad (Van Der Heijden *et al.* 1998). La retroalimentación será más fuerte con el cambio climático (Bennett y Classen, 2020). HMA se adaptará al estrés abiótico independientemente de su planta huésped. Dependiendo del estrés, los beneficios de los HMA para las plantas asociadas pueden variar (Hoeksema *et al.* 2010).

##### ***a. Estrés por sequía.***

El estrés por sequía afecta la vida vegetal de muchas formas; por ejemplo, la escasez de agua en las raíces reduce la tasa de transpiración e induce estrés oxidativo (Hasanuzzaman *et al.* 2013). El estrés por sequía imparte efectos nocivos sobre el crecimiento de las plantas al afectar la actividad enzimática, la absorción de iones y la asimilación de nutrientes (Ahanger y Agarwal, 2017). Sin embargo, existe una fuerte evidencia del alivio del estrés por sequía por HMA en diferentes cultivos como trigo, cebada, maíz, soja, fresa y cebolla (Mena-Violante *et al.* 2006; Ruiz-Lozano *et al.* 2015; Yooyongwech *et al.* 2016; Moradtalab *et al.* 2019). La tolerancia de las plantas a la sequía podría deberse principalmente a un gran volumen de suelo explorado por las raíces y a las hifas extrarradicales de los hongos (Zhang *et al.* 2016).

##### ***b. Estrés por salinidad.***

Se sabe que el estrés salino suprime el crecimiento de las plantas al afectar el desarrollo vegetativo y la tasa de asimilación neta, lo que resulta en una reducción de la productividad del rendimiento (Ahanger *et al.* 2017). Entre los mecanismos implicados en la tolerancia a la salinidad en plantas inoculadas con HMA, tenemos la mejora de la capacidad de absorción de agua y absorción de nutrientes, la acumulación de osmorreguladores como prolina y azúcares (Yamato *et al.* 2008), la homeostasis iónica (Munns y Tester, 2008) y la reducción de  $\text{Na}^+$  y absorción de  $\text{Cl}^-$

(Li *et al.* 2020). Además, se ha demostrado que la colonización por HMA mejora la conductancia estomática y reduce el daño oxidativo en plantas expuestas a la salinidad (Li *et al.* 2020).

**c. Estrés por metales pesados.**

Los metales pesados pueden acumularse en cultivos alimentarios, frutas, verduras y suelos, causando diversos peligros para la salud (Yousaf *et al.* 2016). Las plantas cultivadas en suelos enriquecidos con Cd y Zn exhiben una supresión considerable en el crecimiento de brotes y raíces, clorosis de las hojas e incluso la muerte (Moghadam, 2016). Los metales pesados pueden inmovilizarse en las hifas de hongos de origen interno y externo que tienen la capacidad de fijar metales pesados en la pared celular y almacenarlos en la vacuola o pueden quelarse con algunas otras sustancias en el citoplasma (Ouziad *et al.* 2005).

**1.3.5. Hongos Micorrízicos arbusculares contra el estrés biótico en plantas.**

La colonización por HMA tiene un efecto protector denominado resistencia inducida por micorrizas (Nguvo y Gao, 2019), que proporciona protección sistémica contra una amplia gama de atacantes y comparte características con la resistencia sistémica adquirida después de la infección por patógenos y la resistencia sistémica inducida después de colonización de raíces por rizobacterias no patógenas (Cameron *et al.* 2013). Además de la activación de los mecanismos de defensa de las plantas, se han informado varias otras razones para la reducción del daño de los patógenos por los HMA, como la mejora del estado nutricional de la planta hospedante, el cambio en el crecimiento y la morfología de las raíces, la competencia por los sitios de colonización y los fotosintetos del hospedador, y cambios en la micorrizosfera (Vos *et al.* 2012).

**1.4. Interacción entre el sachá inchi y las micorrizas**

La colonización de HMA mejoró el crecimiento de plántulas de sachá inchi, tanto en condiciones de sequía y bien regadas, lo que contribuyó principalmente a la mayor área foliar, relación del área foliar y tasa fotosintética; también se detectaron actividades de mayor enzima antioxidante en plantas de micorrizas arbusculares, en consonancia con la tolerancia a la sequía (Tian *et al.* 2012). La simbiosis representa un alto costo para la planta, entre el 4% y el 20% del carbono fijado a través de la fotosíntesis es consumido por el hongo (Parniske, 2008). Sin embargo, las hifas del hongo son mucho más finas que las raíces y para la planta podría ser desgastante producir más raíces que establecer una

simbiosis que le aporte beneficios nutricionales (Helgason y Fitter, 2009). El carbono tomado de la planta, es usado para la producción de estructuras: esporas e hifas, dicho carbono, es absorbido en forma de hexosas por los arbusculos intraradicales y son convertidos a lípidos y glicógeno que luego son exportados al micelio externo el cual no tiene la capacidad de absorber carbono del suelo (Smith y Read, 2008).

### **1.5. Ventajas y beneficios de la colonización de HMA**

(Rojas, 2010), menciona que hay ventajas de la aplicación de micorrizas en un sistema agroecológico y son:

- a. Mayor crecimiento y desarrollo de las plantas en beneficio de la adaptación y eficiencia de éstas al facilitar una mayor absorción de nutrientes minerales del suelo.
- b. Mejora el reciclado de nutrientes en el suelo.
- c. Aumenta la eficiencia de otros microorganismos que tienden a asociarse con ellas, tales como *Rizhobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, que a su vez incrementan la captación de nutrientes para las plantas.
- d. Mejora el control de enfermedades y por ende se facilita la disminución en gasto de insecticidas y funguicidas.
- e. Produce plantas más resistentes al ataque de patógenos.
- f. Facilitan la adaptación a suelos salinos.
- g. Contribuyen con la disminución de la erosión (Molina, Mahecha y Medina, 2005).
- h. Se incrementa la tasa fotosintética, potencial osmótico, conductancia estomática, reproducción y la transpiración (Smith y Read, 1997; Augé, 2001; Mozombite, 2017; Orbe, 2019).
- i. Incrementa la biomasa seca aérea y radicular (Abbott y Robson, 1991; Sieverding, 1991; Jasper y Davy, 1993).

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **2.1.1. Tipo de investigación.**

El presente trabajo es de investigación aplicada, tiene como finalidad primordial la resolución de problemas prácticos inmediatos a transformar las condiciones agroecológicas que se encuentra.

##### **2.1.2. Nivel de investigación.**

La investigación es de nivel explicativo, encaminado de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa – efecto. En ese sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas y como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo del conocimiento.

#### **2.2. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es experimental, realizado en condiciones de vivero (fase de adaptación de plántulas) y campo, estableciendo experimentos independientes para el estudio de consorcios micorrícicos en la producción de sachá inchi en diferentes condiciones agroecológicas de la región.

#### **2.3. Población y muestra**

##### **2.3.1. Población.**

La población de cada parcela tendrá 240 plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) incluyendo las plantas que evitaren el efecto de borde.

##### **2.3.2. Muestra.**

La muestra tendrá 4 tratamientos de consorcios micorrícicos inoculados, más 1 testigo absoluto sin inocular. Cada tratamiento tendrá 12 unidades experimentales en 3 bloques, cada planta será una unidad experimental y tendría un total de 60 plantas que se evaluará en cada parcela.



## 2.4. Sistema de hipótesis

H0: La aplicación de Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos no causará efectos sobre la producción de *Plukenetia volubilis* L.

H1: La aplicación de Consorcio de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos causará efectos sobre la producción de *Plukenetia volubilis* L.

## 2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Los datos fueron obtenidos de fuentes primarias y para conseguirlos se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

### 2.5.1. Técnicas.

- Obtención y análisis de datos como: verificación del banco de germoplasma del LBGM y la disponibilidad de consorcios micorrízicos altamente eficaces, para la selección como posibles mejoradores de la producción de sachá inchi en campo.
- Observacional, como: identificación y reconocimiento de morfotipos de HMA (forma, tamaño, color, etc.).

### 2.5.2. Instrumentos.

- Cuaderno de notas.
- Archivo de datos.

## 2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se realizaron dos experimentos de investigación, el primero consistió en un ensayo de adaptación de plántulas de sachá inchi inoculadas con consorcios micorrízicos, para lo cual se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), teniendo 5 tratamientos y 6 repeticiones, siendo cada repetición una unidad experimental (una plántula de sachá inchi), dando un total de 30 unidades (Tabla 1), este ensayo se instaló en condiciones de vivero. El segundo ensayo se realizó en condiciones de campo definitivo, con las plántulas de sachá inchi adaptadas a condiciones de vivero (ensayo 1) y sembradas en parcelas demostrativas en cuatro localidades de cuatro provincias de la región (Tabla 3).

Para ello, se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) simple, teniendo tres bloques con 5 tratamientos cada uno y 4 repeticiones, siendo cada repetición una unidad experimental (una planta de sachu inchi), resultando un total de 20 unidades (Tabla 2). Todos los datos de los dos ensayos fueron tabulados en hojas de cálculo Excel, siendo procesados y analizados mediante un análisis de varianza (ANVA), y un test de comparación de medias (Tukey,  $P < 0,05$ ). Para realizar este análisis se utilizó el paquete estadístico InfoStat (versión 2012e; Córdoba, Argentina).

**Tabla 1**

*Descripción de tratamientos en estudio para el ensayo 1, realizado en condiciones de vivero.*

Tratamientos	Consortios	N° de especies	Especies de HMA*	N° de esporas inoculadas por plantas
T0	Control (a)	-	-	-
T1	1 (b)	5	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>	1 000
			<i>Glomus brohultii</i>	
			<i>Acaulospora spinosissima</i>	
			<i>Glomus microcarpum</i>	
T2	2 (c)	7	<i>Rhizoglopus irregulare</i>	1 000
			<i>Acaulospora spinosissima</i>	
			<i>Cloroideglopus claroideum</i>	
			<i>Glomus sp.</i>	
			<i>Rhizophagus agregatum</i>	
T3	3 (d)	5	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	1 000
			<i>Glomus microcarpum</i>	
			<i>Glomus macrocarpum</i>	
			<i>Glomus brohultii</i>	
			<i>Glomus sp.</i>	
T4	4 (e)	4	<i>Glomus microcarpum</i>	1 000
			<i>Rhizoglopus irregulare</i>	
			<i>Glomus macrocarpum</i>	
			<i>Ghizoglopus sp.</i>	
T4	4 (e)	4	<i>Claroideoglopus sp.</i>	1 000
			<i>Septoglopus constrictum</i>	
			<i>Funneliformis geosporum</i>	

\*Especies de HMA: Se mencionan todas las especies de micorrizas identificadas en el consorcio.

**Tabla 2**

*Descripción de tratamientos en estudio para el ensayo 2, realizado en condiciones de campo definitivo.*

<b>Bloque</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Repetición</b>	<b>Descripción de tratamientos</b>
1	T0	4	Control (a)
	T1	4	Consorcio 1 (b)
	T2	4	Consorcio 2 (c)
	T3	4	Consorcio 3 (d)
	T4	4	Consorcio 4 (e)
2	T4	4	Consorcio 4 (e)
	T3	4	Consorcio 3 (d)
	T2	4	Consorcio 2 (c)
	T1	4	Consorcio 1 (b)
	T0	4	Control (a)
3	T3	4	Consorcio 3 (d)
	T4	4	Consorcio 4 (e)
	T0	4	Control (a)
	T2	4	Consorcio 2 (c)
	T1	4	Consorcio 1 (b)

## 2.7. Métodos.

### 2.7.1. Área de estudio.

Para el ensayo 1, se realizó en las instalaciones del vivero de multiplicación de plántulas con micorrizas, perteneciente al LBGGM – Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), ubicado en el campus de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto. Y para la instalación del ensayo 2, se eligió cuatro provincias en la región San Martín, de las cuales se consideró una localidad por provincia para la instalación de las plantas de sachá inchi micorrizadas (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Ubicación de la instalación de las parcelas de experimento en la región de San Martín.*

<b>Ubicación Política</b>			<b>Ubicación Geográfica</b>		
<b>Departamento</b>	<b>Provincia</b>	<b>Localidad</b>	<b>Longitud Este</b>	<b>Longitud Norte</b>	<b>Altitud</b>
San Martín	Lamas	Palmiche	323556.71 m E	9299110.44 m S	842 m
San Martín	El Dorado	Santa Rosa	319790.33 m E	9255717.64 m S	314 m
San Martín	Bellavista	Dos de Mayo	330406.24 m E	9248973.48 m S	300 m
San Martín	Picota	Huañipo	369159.04 m E	9220430.12 m S	532 m

### **2.7.2. Colecta de semillas de sachá inchi.**

Las semillas de sachá inchi se colectaron individualmente de la provincia de Lamas, sector y accesión Shanantina, de la parcela del señor Alberto Sinarahua Sangama, en donde se colectó aproximadamente 2kg. Para la colecta se tuvo en cuenta algunas características propuestas por Sotomayor y Duicela, (1988) como: selección de plantas jóvenes, sanas, libres de plagas y enfermedades, para garantizar semillas en buenas condiciones.

### **2.7.3. Colecta y esterilización de sustrato estéril (suelo agrícola y arena).**

Se colectó aproximadamente 500 kg de tierra negra, procedente del sector Aucaloma, provincia de Lamas, la cual fue tamizada para eliminar raíces, ramas y hojas secas. Así mismo, se colectó arena de río, la cual fue zarandeada por un tamiz para eliminar piedras y rastrojos. Para obtener el sustrato estéril, el suelo agrícola y arena de río pasaron por un proceso de esterilización. En el caso de la arena de río, se desinfectó con NaCl al 4% (20 ml NaCl/10 l de agua) para eliminar cualquier microorganismo y se secó durante un día, moviéndolo secuencialmente. Posteriormente, el suelo agrícola y la arena de río lavada, fueron esterilizados en una autoclave a 121 °C y 15 lb de presión tiempo de 30 minutos, durante 3 días consecutivos.

### **2.7.4. Obtención de fuente de inóculo de consorcios de HMA.**

Los consorcios micorrícicos que se encuentran en multiplicación y acondicionadas en el Banco de Germoplasma de Hongos Micorrízicos Arbusculares del Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM) fueron aisladas de parcelas sachá incheras de la región, además, están siendo multiplicadas utilizando plantas trampa (sorgo, alfalfa, maíz y brachiaria) durante varios ciclos continuos en condiciones ex vitro (Figura 1).



**Figura 1:** Consorcios micorrízicos de HMA nativos, cultivadas en el laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM).

#### **2.7.5. Aislamiento de esporas de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.).**

Para esta actividad se utilizó el método del tamizado húmedo y decantación, con el cual las muestras obtenidas fueron diluidas en agua de caño y luego fueron decantadas en los tamices de 250 y 38  $\mu\text{m}$ ; después la fracción del tamiz de 38  $\mu\text{m}$  se colocó en tubos falcón en los que previamente se había colocado 20 ml de sacarosa al 20% y 10 ml al 60%, ambas en concentración Peso/Volumen (P/V), para luego colocarlos en la centrífuga por 5 minutos a 3500 RPM. Después, el sobrenadante fue tamizado en la criba de 38  $\mu\text{m}$  en donde se obtuvo la segunda fracción positiva, la misma que fue vaciada en placas Petri para su observación en el Estereomicroscopio 5X, Gerdemann y Nicolson (1963), con modificaciones.

#### **2.7.6. Identificación y validación de consorcios micorrízicos.**

Las esporas encontradas en las muestras de los consorcios de HMA, fueron aisladas y montadas en una placa porta objeto utilizando alcohol polivinílico más ácido-láctico-glicerol (PVLG) y PVLG con reactivo de Melzer, con la finalidad de observar la estructura interna y la viabilidad de dichas esporas. Las tomas fotográficas se realizaron en un microscopio trinocular con software “ToupView 3,7 for digital camera” incluido, tomando fotografías con los objetivos de 40x y 100x. (Figura 1).

## **2.7.7. Inoculación con consorcios micorrícicos a plantas de sachá inchi en condiciones de vivero.**

### ***2.7.7.1. Preparación de sustrato.***

Para el estudio se utilizó como sustrato: tierra negra y arena gruesa de río ambos previamente esterilizados y mezclados en una proporción de 2:1 respectivamente. Para su preparación, se homogenizó con el fin de mejorar la textura del sustrato para el buen desarrollo de las plantas.

### ***2.7.7.2. Llenado de bolsas almacigueras.***

Se llenaron bolsas almacigueras de 1kg con sustrato estéril, para el repique de plántulas de sachá inchi. Acondicionando un total de 20 bolsas como mínimo por localidad, debidamente etiquetado.

### ***2.7.7.3. Pre – germinación de semillas de sachá inchi.***

Se construyó camas almacigueras, en la cual se colocó arena lavada de río previamente esterilizada. La siembra de semillas se realizó colocando hacia abajo el punto de salida de la radícula, en contacto con la arena, poniendo en forma ordenada. Luego, se cubrió con una capa fina de arena (1 cm de espesor). Seguidamente, se realizó un riego hasta su capacidad de campo. Al cabo de 8 días después de la siembra (d.d.s), se logró observar la germinación.

### ***2.7.7.4. Repique de plántulas de sachá inchi.***

Se realizó en el momento de la germinación, extrayendo y seleccionando las plántulas de sachá inchi (presencia de radícula sin malformaciones) que presentaron un desarrollo homogéneo, eliminando aquellas que presentan raíces atrofiadas o deformes. Las plántulas seleccionadas fueron colocadas en envases con agua estéril a fin de evitar su deshidratación. Posteriormente, se realizó el repique en cada bolsa almaciguera, realizando previamente hoyos apropiados, de acuerdo al tamaño de la radícula.

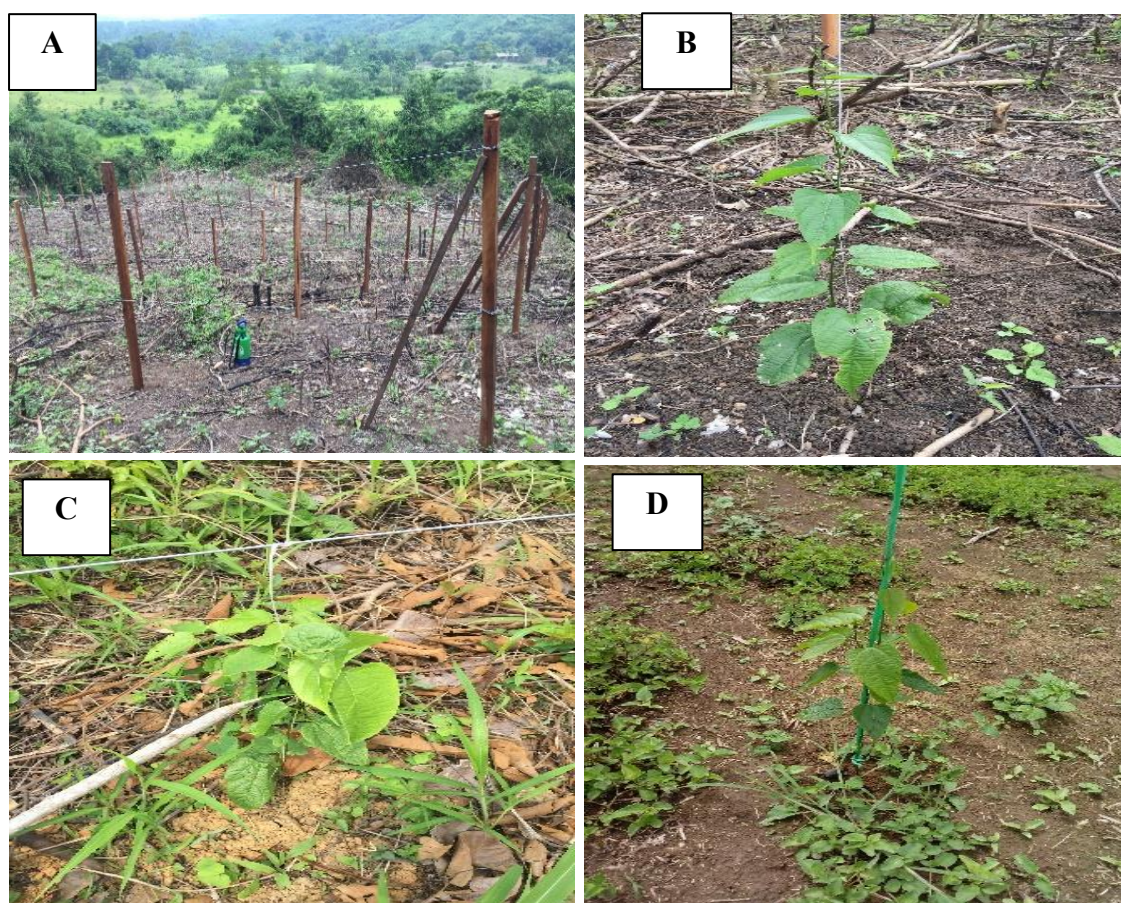
### ***2.7.7.5. Inoculación con fuente de inóculo de consorcios de HMA.***

La inoculación con consorcios micorrícicos, se realizó poniendo cada fuente de inóculo (Tabla 1), en cantidad de suelo estimado para 1 000 esporas/bolsa/consorcio, en el momento de la siembra de cada plántula de sachá inchi, esta actividad se hizo simultáneamente con la siembra, por motivo de no generar estrés en las plántulas y poner en contacto directo con las raíces, luego se

regó, a fin de no causar estrés a las plántulas. Dejando listas para las evaluaciones morfológicas correspondientes, antes de ser llevadas a campo definitivo.

### 2.7.8. Traslado y siembras de plantas de sachá inchi en campo definitivo.

Las plantas de sachá inchi, fueron trasladadas a las parcelas correspondientes, según la Tabla 3, pasado 60 días después de la siembra e inoculación con especies HMA. Fueron acomodadas en una camioneta acondicionada para su traslado, teniendo todas las correcciones del caso, para evitar causar estrés en las plantas. Una vez puestas en cada localidad, y teniendo en cuenta las labores agronómicas previas (eliminación de malezas, diseño experimental, realización de hoyos apropiados, instalación de sistema de tutoraje, etc.), se sembró cada planta, eliminando la bolsa almaciguera, dejando las raíces en contacto con el medio natural. Esperando tener las respuestas de adaptación y desarrollo óptimas de cada planta, inducida por los consorcios micorrícicos inoculados (Figura 2).



**Figura 2:** Siembra de plántulas de sachá inchi, en las cuatro localidades de la región de San Martín. A) Provincia El Dorado – localidad de Santa Rosa. B) Provincia de Bellavista - localidad de Dos de Mayo. C) Provincia de Lamas - localidad de Palmiche. D) Provincia de Picota - localida de Huañipo.

### **2.7.9. Variables evaluadas.**

Se realizó dos etapas, la primera etapa se hizo la recolección de datos de los parámetros morfo – fisiológicos, previamente en vivero, al término de los 45 días después de la inoculación (d.d.i), y luego se hizo el traslado a campo definitivo, si hubo diferenciación morfológica que causaron las morfotipos de HMA nativo, presentes sobre cada especie de las plantas. Seguidamente, en la segunda etapa se realizó en campo definitivo, las plantas se evaluaron cada 15 días después de la siembra (d.d.s), por el tiempo determinado de 315 días después de la siembra (d.d.s).

#### ***2.7.9.1. Altura de plantas (vivero).***

Se evaluó la altura de plantas de sachá inchi, diez días después de la inoculación (d.d.i) con consorcios micorrízicos. Se tomó como referencia la base del tallo hasta el meristemo apical con ayuda de una regla milimetrada.

#### ***2.7.9.2. Diámetro del tallo (vivero y campo definitivo).***

Se realizó tomando como punto de referencia a 1 cm de la base del tallo con ayuda de un vernier digital (Figura 3).



**Figura 3:** Evaluación del diámetro de tallo, en condiciones de campo.



### **2.7.9.3. Número de hojas (vivero).**

Se realizó el conteo de forma visual a todas las hojas/planta hasta el meristemo apical de la planta.

### **2.7.9.4. Contenido de clorofila (SPAD) (vivero y campo definitivo).**

Se seleccionaron hojas de la parte baja, media y superior de cada planta, con la finalidad de estimar la concentración de clorofila en las hojas a través de un equipo especializado denominado: medidor de clorofila in situ (SPAD-502 Plus).



**Figura 4:** Evaluación del contenido de clorofila, en condiciones de campo.

### **2.7.9.5. Área foliar (cm<sup>2</sup>) (vivero).**

Se extrajo todas las hojas verdaderas de cada planta; luego estas fueron escaneadas y analizadas a través del software de libre acceso, FIJI (Fiji Is Just ImageJ).

### **2.7.9.6. Peso fresco de la biomasa total (g) (vivero).**

Se sacaron cuidadosamente las plántulas de las macetas con el fin de no causar daños al sistema radicular. Luego, estas fueron lavadas, limpiadas, cortadas y pesadas (parte aérea y radicular) con ayuda de la balanza analítica (Ohaus). Finalmente, fueron puestos en sobres etiquetados y llevados a la estufa a una temperatura de 60° C durante 72 horas.

#### **2.7.9.7. *Peso seco de la biomasa aérea (g) (vivero).***

Al cabo de las 72 horas dentro de la estufa a 60 °C, se sacó las muestras y se pesó con una balanza analítica (Ohaus) para estimar el volumen seco de la biomasa total.

#### **2.7.9.8. *Porcentaje de colonización micorrízica (vivero y campo definitivo).***

Primeramente, se realizó la tinción de raíces de sachá inchi, siguiendo la técnica descrita por Phillips y Hayman, (1970). Luego, el cálculo del porcentaje de colonización micorrízica se determinó mediante el método de Brundrett *et al.* (1996) con modificaciones, donde se montaron 20 raíces teñidas sobre una lámina portaobjeto ubicadas en forma vertical (paralelo una de otra), en el que se adicionó gotas de lactoglicerol a las raíces con la finalidad de facilitar la observación del tejido interno y cubiertas con láminas cubreobjetos, posteriormente fueron observadas bajo un microscopio trinocular con el software “ToupView 3,7 for digital camera” para cuantificar el número de raíces colonizadas. Si al encontrarse cualquier estructura fúngica, ya sea hifas, vesículas, arbuscúlos, ovillos (o enrollamientos) o esporas, se anotaba un signo positivo (+); y si no, un signo negativo (-). Para transformar a % de colonización se estimó mediante la siguiente fórmula:

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

#### **2.7.9.9. *Número de esporas (campo definitivo).***

Esta variable se evaluó al término de las evaluaciones en campo definitivo, tomando como referencia una muestra de suelo adyacente a una planta de sachá inchi en campo, después se evaluó la presencia individual de cada espóra de micorriza, teniendo en cuenta la metodología descrita en los numerales 2.7.5 y 2.7.6.

#### **2.7.9.10. *Análisis físico y químico de suelo (campo definitivo).***

Esta variable se realizó de cada parcela, obteniendo 1kg de suelo, para realizar su respectivo análisis. Se utilizó una palana y bolsas para recolectar las muestras.

### **2.7.9.11. Rendimiento de cultivo (campo definitivo).**

La cosecha se realizó cada 15 días durante 4 meses de la producción en campo, se determinó el rendimiento planta por planta y por hectárea en cada uno de los tratamientos en investigación, considerando las siguientes variables adaptado de Cruz, (2013). Esta evaluación se realizó en los meses correspondientes a la cosecha.

#### **a. Número de cápsulas cosechadas.**

Se realizó el conteo de cápsulas planta por planta, cada 15 días después de la primera cosecha, durante el primer año. Esto se realizó durante 4 meses de la producción en campo.

#### **b. Peso de cápsulas cosechadas.**

Esta variable se obtuvo pesando las cápsulas cosechadas de cada planta a evaluar, durante el primer año de cosecha con ayuda de una balanza en Kg. Esto se realizó durante los meses que se realice la cosecha.

#### **c. Número de semillas por cápsula.**

Se determinó contando el número de semillas de 4 cápsulas por planta tomadas al azar en cada cosecha. Tomando en cuenta la cantidad de cosechas que se realizarán.

#### **d. Peso de semillas.**

Se determinó pesando las semillas de las cápsulas cosechadas de las plantas cada 15 días después de la primera cosecha; tomando en cuenta la cantidad de cosechas que se realizarán. Este valor nos proporcionó el rendimiento por planta. Esto se realizó con ayuda de una balanza en Kg.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis físico – químico del suelo

El muestreo del suelo fue realizado en las 4 localidades pertenecientes a 4 provincias de la región, como son: Provincia de Picota (Localidad de Huañipo), provincia de Lamas (Localidad de Palmiche), provincia de Bellavista (Localidad de Dos de Mayo) y provincia El Dorado (Localidad de Santa Rosa). El análisis se realizó en el laboratorio de suelos y aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNSM, Tarapoto, evaluando parámetros como: pH, textura, materia orgánica (%), fósforo (ppm) y potasio (ppm) (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Análisis de suelo de los parámetros físicos y químicos de las localidades de Huañipo, Palmiche, Dos de Mayo y Santa Rosa, donde se ejecuto el estudio. Laboratorio de suelos y aguas.*

Análisis Físico - Químico					Elementos Disponibles				
Provincias	Localidad	Textura			Clase Textural	pH	% M. O	P (ppm)	K (ppm)
		% Are	% Arc	% Lim					
Picota	Huañipo	46	39	15	Fr.	7,33 a	5,31 a	12,3 c	397 bc
Lamas	Palmiche	54	35	11	Fr.Ar.	6,22 b	3,24 bc	14,5 b	233 c
Bellavista	Dos de Mayo	26	39	35	Fr.A.	7,46 a	2,76 c	12,8 c	630 bc
El Dorado	Santa Rosa	62	23	15	Fr.A.	7,42 a	3,86 b	16,2 a	634 a

Donde las letras distintas indican diferencias estadísticas entre sí. Are = Arenoso, Arc=Arcilloso, Lim=Limo, Fr=Franco, Fr. A=Franco Arenoso, Fr. Ar=Franco Arcilloso, pH=Medida de acidez o alcalinidad de una disolución, M. O=Materia Organica, P(ppm)=Fosforo (partes por millón), K(ppm)=Potasio (partes por millón).

La misma Tabla también muestra el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) realizado para los parámetros: pH, % Materia orgánica, Fósforo disponible (ppm) y Potasio disponible (ppm). La cual en el parámetro pH los resultados tuvieron

diferencias estadísticas significativas en la localidad de Huañipo – Provincia de Picota, localidad de Dos de Mayo – Provincia de Bellavista y localidad de Santa Rosa – Provincia El Dorado, donde obtuvieron un pH de 7,33; 7,46 y 7,42 (neutro – alcalino), la única que fue diferente es la localidad de Palmiche – Provincia de Lamas (6,22). En este caso, la varianza no fue significativa ya que estos resultados están en el rango aceptable para el balance biológico, Finzi (2009) menciona que, cuando el pH del suelo es inferior a 5,5, el  $Al^{3+}$  se moviliza y se une al P inorgánico, haciéndolo menos disponible para la absorción de las plantas. La mayoría de estudios previos que examinan los efectos del pH del suelo, están enfocados en las ectomicorrizas, sugiriendo que las condiciones ácidas reducen la colonización de este tipo de micorrizas, alterando la estructura de la comunidad (Dighton y Skeffington, 1987), aunque algunos no han visto influencia de la acidificación en la estructura de la comunidad (Rudawska *et al.* 1995). Un experimento realizado por (Wallander *et al.* 1997) aumentó el pH de 4,5 a 5,8; sugiriendo que la comunidad ectomicorrícica cambió de una especializada para la adquisición de N orgánico a una que utiliza N inorgánico. Para el porcentaje de materia orgánica, se obtuvo diferencias significativas en la localidad Huañipo, con 5,31%, seguido de las demás localidades, en este caso la materia orgánica está relacionada con la textura y estructura que presente el suelo. Sobre la materia orgánica, (Schlesinger y Andrews, 2000), mencionan que es la principal fuente de nutrientes disponibles para las plantas en los ecosistemas terrestres, y el mantenimiento de los niveles de materia orgánica es fundamental para la sostenibilidad del ecosistema. Además de ser un importante reservorio de nutrientes, esta representa una importante reserva de carbono (C), que contiene el doble de C que la atmósfera y la vegetación terrestre combinadas. Las transferencias de C entre los suelos y la atmósfera son uno de los flujos más grandes en el presupuesto global de C terrestre, y los suelos liberan anualmente 60-75 Pg C a la atmósfera a través de la descomposición microbiana de materiales orgánicos. En el contenido de fósforo (P) (ppm) se obtuvieron diferencias estadísticas entre sí, en la localidad de Santa Rosa – Provincia El Dorado, con 16,2 ppm, seguido de las demás como, localidad de Dos de Mayo (Provincia de Bellavista) y localidad de Huañipo (Provincia de Picota) con 12,8 y 12,5 ppm, esto posiblemente a que en esta localidad (Santa Rosa), no exista una asimilación y descomposición de este elemento y ponerlo a disposición de las plantas, debido también, a la poca presencia de especies micorrícicas capaces de captar este macronutriente, sobre la forma de absorción de P, (Plassard y Dell,

2010), mencionan que las plantas absorben P como fosfato inorgánico de la solución suelo. Sin embargo, esta fuente de P es escasa porque tiene velocidades de difusión bajas en el suelo (Shen *et al.* 2011), y es secuestrado por otros minerales del suelo, como hidróxidos de Fe y Al (Prietz *et al.* 2016) o está unido a la materia orgánica (Lambers *et al.* 2008). Es allí en donde las micorrizas juegan un papel muy importante, ya que estos reciclan el P y lo unen a compuestos orgánicos mediante la producción de fosfatasas ácidas (Smith *et al.* 2015), haciendo de este elemento, disponible a la forma de solubilización de las plantas. Por último, el contenido de K disponible en el suelo, fue mayor en la localidad de Santa Rosa (Provincia El Dorado) con 634 ppm, seguido de la localidad de Dos de Mayo (Provincia de Bellavista) con 630 ppm, lo que indica una gran diferencia de disponibilidad de este elemento, al comparar con las demás localidades estudiadas, ahora bien, si este elemento sería solubilizado por las plantas, estos hospedantes no sufrirían la consecuencia de deficiencias nutricionales por falta de este importante macronutriente, ya que, este catión participa en varios procesos cruciales como la polarización de la membrana plasmática, el crecimiento, la apertura estomática o la adaptación a los cambios ambientales (Broadley y White, 2005; Wang y Wu, 2013; Anshütz *et al.* 2014). Mantener una concentración elevada de  $K^+$  en las células vegetales es vital para el buen funcionamiento de dichos procesos fisiológicos (Benito *et al.* 2014). Demostrando que estos principales macronutrientes (P y K) son esenciales para el desarrollo de las plantas, por lo cual su disponibilidad asegura un buen desarrollo.

### **3.2. Identificación de consorcios de hongos micorrízicos de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)**

Se logró aislar consorcios micorrízicos, multiplicados y adaptados a condiciones de vivero, en camas de multiplicación, con cultivos trampa como: sorgo, alfalfa, maíz y brachiaria. Cabe recalcar, que estos consorcios se encuentran multiplicados a gran escala, teniendo como resultado, su gran adaptabilidad y esporulación a estas condiciones. Luego, a partir de ese suelo rizosférico, se logró inocular 1 000 esporas de consorcios micorrízicos en plántones de sachá inchi, además de la obtención de plantas muy bien adaptadas y simbióticas a condiciones de vivero y con rasgos morfo – fisiológicos interesantes, siendo diferente entre consorcios inoculados. Los consorcios se describen en la Tabla 5:

**Tabla 5**

*Descripción de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares, utilizados como fuente de inóculo en plantas de sachá inchi.*

Tratamientos	Consortios	N° de especies	Especies HMA
T1	1	5	<i>Claroideoglopus etunicatum</i>
			<i>Glomus brohultii</i>
			<i>Acaulospora spinosissima</i>
			<i>Glomus microcarpum</i>
			<i>Rhizoglopus irregulare</i>
T2	2	7	<i>Acaulospora spinosissima</i>
			<i>Cloroideoglopus claroideum</i>
			<i>Glomus sp.</i>
			<i>Rhizophagus agregatum</i>
			<i>Rhizophagus fasciculatus</i>
			<i>Glomus microcarpum</i>
			<i>Glomus macrocarpum</i>
T3	3	5	<i>Glomus brohultii</i>
			<i>Glomus sp.</i>
			<i>Glomus microcarpum</i>
			<i>Rhizoglopus irregulare</i>
			<i>Glomus macrocarpum</i>
T4	4	4	<i>Rhizoglopus sp.</i>
			<i>Claroideoglopus sp.</i>
			<i>Septoglopus constrictum</i>
			<i>Funneliformis geosporum</i>

Tras este contexto y conociendo las especies micorrícicas que fueron identificadas en el Laboratorio de Biología y Genética Molecular (LBGM), es posible identificar una especie en común que se repite en casi todas las localidades estudiadas, *Glomus microcarpum*, además, encontramos en su mayoría a especies que pertenecen al orden Glomales, los hongos de este orden se han encontrado en casi todos los hábitats en los que las plantas pueden crecer (Brundrett, 1991). Lo que es probable que la presencia de una especie y su abundancia estén determinadas en gran medida por la presencia y abundancia de plantas hospedantes compatibles que permiten que el hongo crezca y se reproduzca, como fue el caso con la esporulación de los HMA en las plantas trampa utilizadas como fuente de inóculo, ya que al ser diferentes plantas trampa, estas generaron

la diversidad de esporulación de una y otra especie micorrícica. Estudios realizados en plantas de café demostraron que la comunidad de HMA es variada, donde (Arias *et al.* 2012), reportan 33 morfoespecies, siendo *Glomus clarum* y *Glomus* sp., las morfoespecies dominantes, en tanto, (Del Águila, 2016), reporta la dominancia de *Glomus* sp., y *Acaulospora* sp., en suelos de fincas cafetaleras de la región, concluyendo que la región alberga una considerable riqueza de especies de HMA. Para varios cultivos como la batata (Jansa *et al.* 2008) o el pimiento (Gogoi, 2011), también se ha demostrado el efecto beneficioso de los HMA sobre el contenido de nutrientes de estas plantas que depende de la diversidad de hongos inoculados. Otro estudio en los que se inoculó diversidad de micorrizas fue realizado por (Berta *et al.* 1995), en donde la colonización por *F. mosseae* o *R. intraradices* aumentó tanto la supervivencia como el crecimiento de *Prunus cerasifera* L., en comparación con controles sin inocular. Estos resultados indican que estos géneros tienen una amplia distribución en diferentes tipos de agroecosistemas en el mundo (Oehl *et al.* 2003). Se cree que las especies de *Acaulospora* y *Glomus* parecen ser más tolerantes a la alteración del suelo, ya que la formación de grandes esporas de Gigasporaceae lleva más tiempo que la de pequeñas esporas de otros géneros de HMA, es decir, la Glomaceae; (Boddington y Dodd, 1999), lo que lleva a que las grandes esporas no tengan tiempo suficiente para formarse y madurar antes de la alteración del suelo. Por lo tanto, la inoculación de plántulas de especies leñosas en condiciones de vivero es una estrategia valiosa para producir plántulas con buen vigor, lo que se traduciría en una alta supervivencia y crecimiento en el campo (Tahat *et al.* 2008). Además de ellos, varios estudios informaron que las respuestas de las plantas a la colonización por HMA varían según la composición del inóculo, y una combinación de hongos micorrícicos es más eficaz que un inóculo monoespecífico (Nakmee *et al.* 2016; Kim *et al.* 2017).

Trabajos de investigación, realizados en la región reportan 12 especies de HMA en la provincia El Dorado, seguido de las provincias de Lamas y Moyobamba ambas con 11 especies identificadas, siendo predominante la presencia de *Acaulospora* sp., y *Glomus* sp., en plantas de café (Medina, 2017). Por su parte, (Del Águila, 2016), reporta la dominancia de *Glomus* sp., y *Acaulospora* sp., en suelos de fincas cafetaleras de tres provincias de la región.



### 3.3. Parámetros morfo – fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de vivero

#### 3.3.1. Altura de plantas (cm).

La Tabla 6 y la Figura 5 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p<0,05$ ) respectivamente, para altura de plántulas de sachá inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

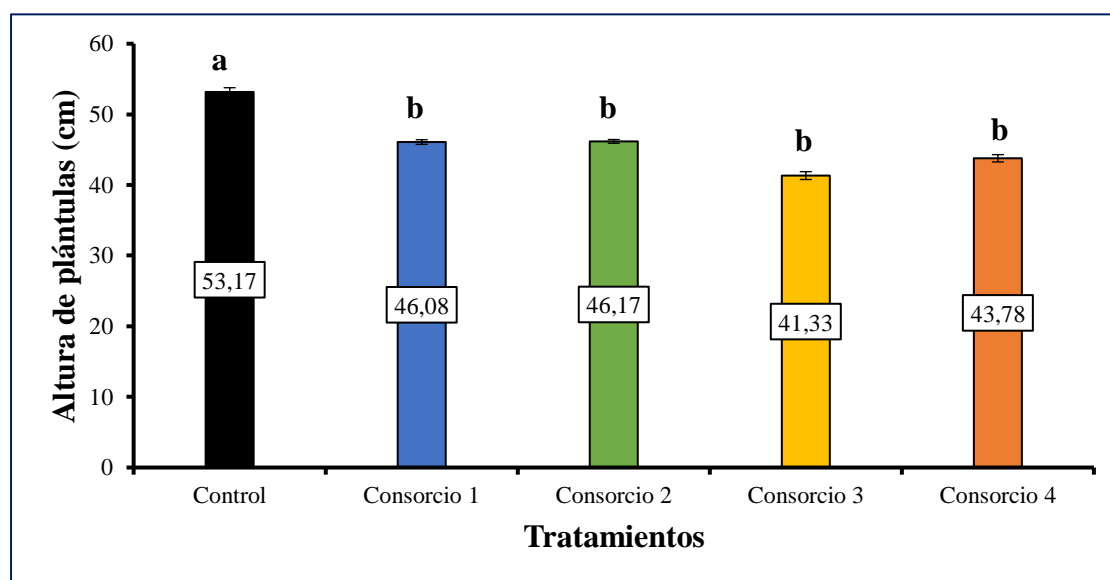
**Tabla 6**

ANVA de la altura de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Tratamientos</b>	468,18	4	117,05	14,2	<0,0001**
<b>Repeticiones</b>	35,57	5	7,11	0,86	0,5227
<b>Error</b>	164,85	20	8,24		
<b>Total</b>	668,6	29			

\*\*= Altamente significativo

R<sup>2</sup>= 85%                                  C.V= 6,23%                                   $\bar{X}$ = 46,10 cm



**Figura 5:** Altura de plántulas (cm) de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) medido a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 6), indica que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (\*\*),

mostrando una media de 46,10 cm, con un coeficiente de variabilidad de 6,23% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 85%, estos resultados indican confiabilidad en la toma de datos y afinidad de la variable respuesta con los tratamientos estudiados, además, están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982).

El análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 5), muestra que el control sin inocular obtuvo una altura mayor a los consorcios inoculados, con una altura de plántulas de 53,17 cm, seguido por los consorcios 2; 1; 4 y 3 con 46,17 cm; 46,08 cm; 43,78 cm y 41,33 cm respectivamente. Lo que indica que, el tiempo corto en vivero, probablemente fue determinante para que las esporas presentes en cada consorcio no hayan realizado una simbiosis óptima con las plantas de sachá inchi. Sin embargo, la varianza entre los cinco tratamientos no es alta, ya que hay una diferencia de -10 cm entre el control y el tratamiento menor, lo que fácilmente puede ser alcanzado o superado en el transcurso del tiempo (campo definitivo).

### 3.3.2. Diámetro de tallo (mm).

La Tabla 7 y la Figura 6 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el diámetro del tallo de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a los 45 días en condiciones de vivero.

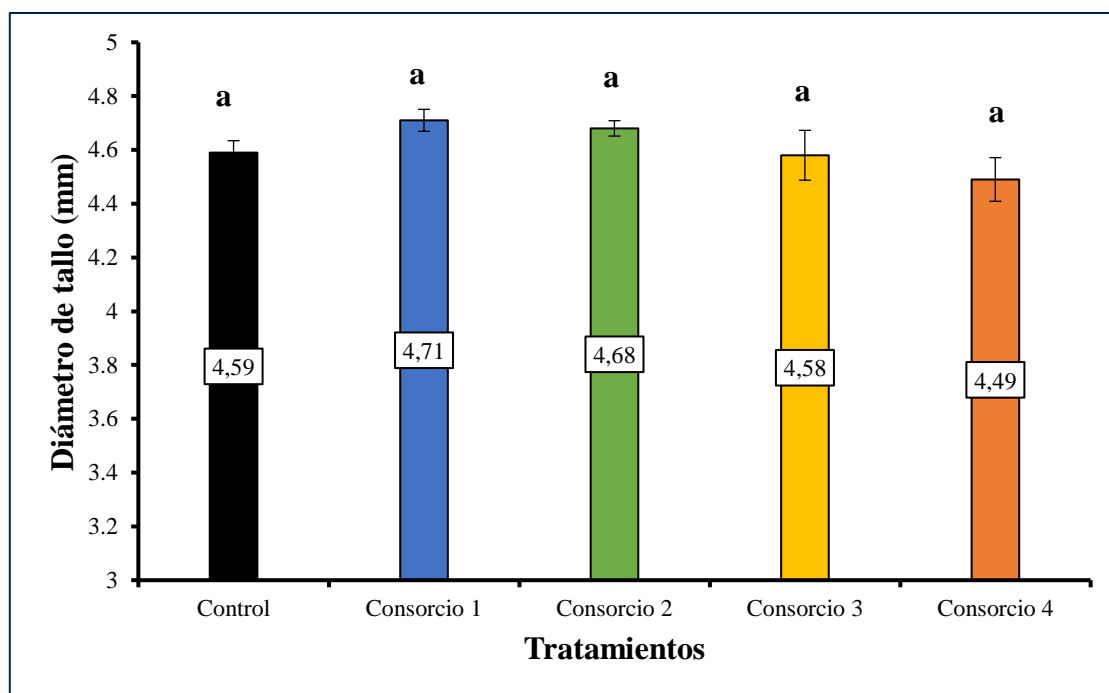
**Tabla 7**

*ANVA de diámetro de tallo de las plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-VALOR</b>
<b>Tratamientos</b>	0,19	4	0,05	0,34	0,8472 N. S
<b>Repeticiones</b>	0,8	5	0,16	1,17	0,3584
<b>Error</b>	2,73	20	0,14		
<b>Total</b>	3,72	29			

N. S= No significativo

$R^2 = 45\%$ 
 $C.V = 8,02\%$ 
 $\bar{X} = 4,61 \text{ mm}$



**Figura 6:** Diámetro de tallo (mm) de las plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 7), indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (N.S), mostrando una media de 4,61 mm, con un coeficiente de variabilidad de 8,02% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 45%, estos resultados indican, que si bien hay un buen C.V que está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982), el  $R^2$ , indica que, la variable respuesta no fue influyente sobre los tratamientos, lo cual se corrobora con el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 6), mostrando que no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos estudiados, ya que además, la varianza entre los cinco tratamientos prácticamente está dada en escasos milímetros (mm), este efecto podría revertirse en condiciones de campo definitivo.

### 3.3.3. Área foliar (cm<sup>2</sup>).

La Tabla 8 y la Figura 7 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el área foliar (cm<sup>2</sup>) en plantas de sachá inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

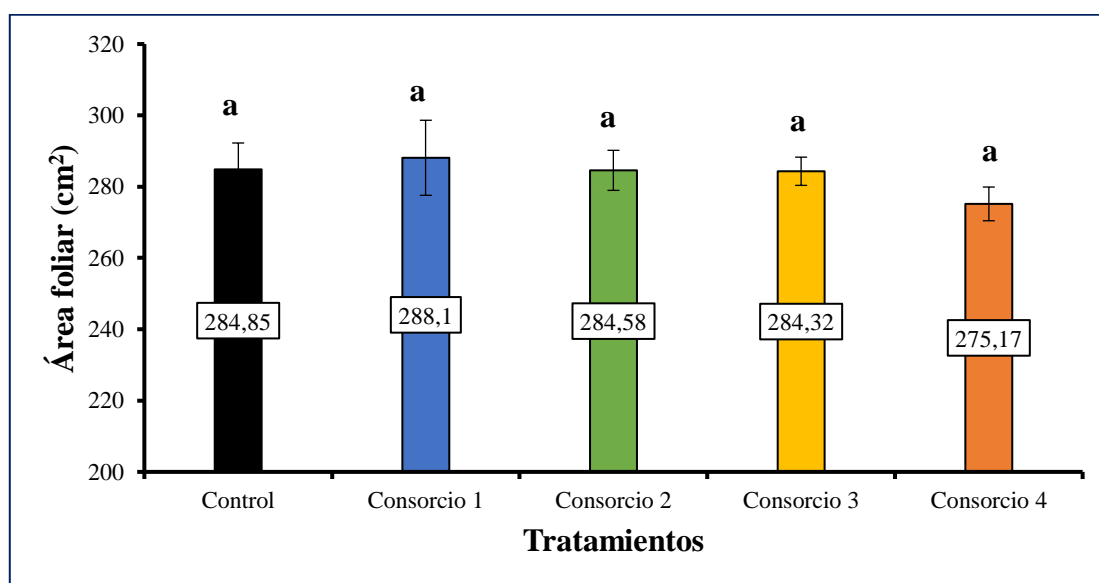
**Tabla 8**

ANVA de área foliar ( $\text{cm}^2$ ) de hojas en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Tratamientos</b>	565,61	4	141,4	0,08	0,9873 N. S
<b>Repeticiones</b>	7 435,45	5	1 487,09	0,85	0,5296
<b>Error</b>	34 910,22	20	1 745,51		
<b>Total</b>	42 911,28	29			

N. S= No significativo

$R^2 = 36\%$                       C.V= 6,74%                       $\bar{X} = 283,40 \text{ cm}^2$



**Figura 7:** Área foliar ( $\text{cm}^2$ ) en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación final, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 8), indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (N.S), mostrando una media de  $283,4 \text{ cm}^2$ , con un coeficiente de variabilidad de 6,74% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 36%, estos resultados indican, al igual que en la variable diámetro del tallo, que si bien hay un buen C.V que está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero, (Calzada, 1982), el  $R^2$ , indica que, la variable respuesta no fue influyente sobre los tratamientos. Y, además, estos resultados se comprueban con el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 7), en donde no hubo diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos estudiados. Y, además, la tendencia es que la varianza no fue significativa entre el tratamiento con resultado mayor (consorcio 1) con el menor (consorcio 4).

### 3.3.4. Número de hojas.

La Tabla 9 y la Figura 8 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el número de hojas en plantas de sachá inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

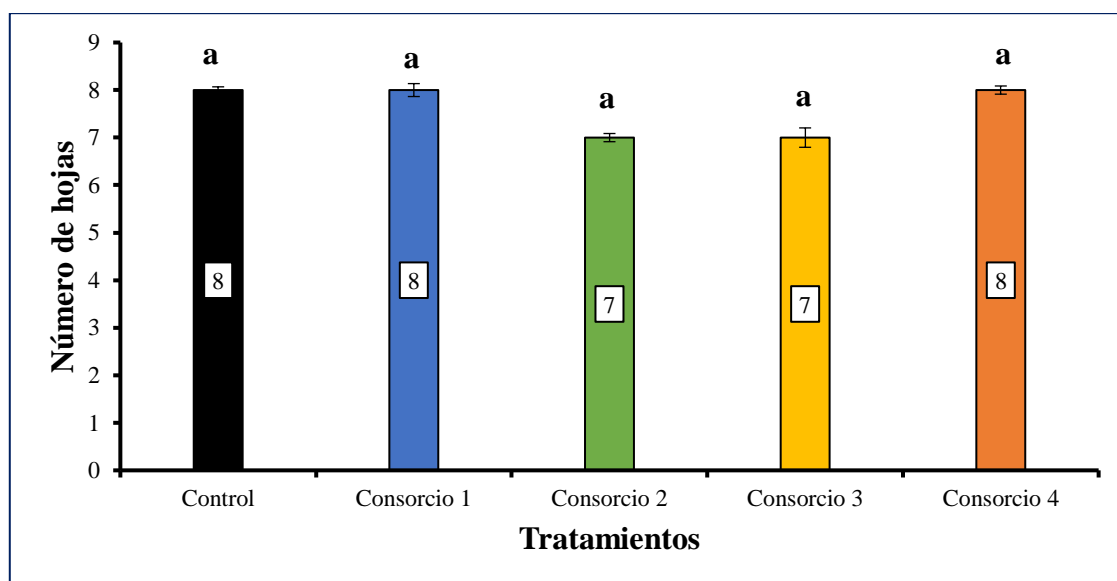
**Tabla 9**

ANVA del número de hojas en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Tratamientos	6,87	4	1,72	2,46	0,0783 N. S
Repeticiones	0,4	5	0,08	0,11	0,9877
Error	13,93	20	0,7		
Total	21,2	29			

N. S= No significativo

$R^2 = 48\%$   $C.V = 8,52\%$   $\bar{X} = 8$  hojas



**Figura 8:** Número de hojas en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 9), indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (N.S), mostrando una media de 8 hojas, con un coeficiente de variabilidad de 8,52% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 48%, estos resultados indican, al igual que la variable anterior, que si bien hay un buen C.V que está dentro del rango de dispersión aceptable, para

trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982), el  $R^2$ , indica que, la variable respuesta no fue influyente sobre los tratamientos. Y, por último, con estos resultados, se comprueba, con el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 8) que no hubo diferencias estadísticas significativas entre sí.

### 3.3.5. Peso fresco total de biomasa de las plantas.

La Tabla 10 y la Figura 9 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el peso fresco total de plántulas de sachá inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

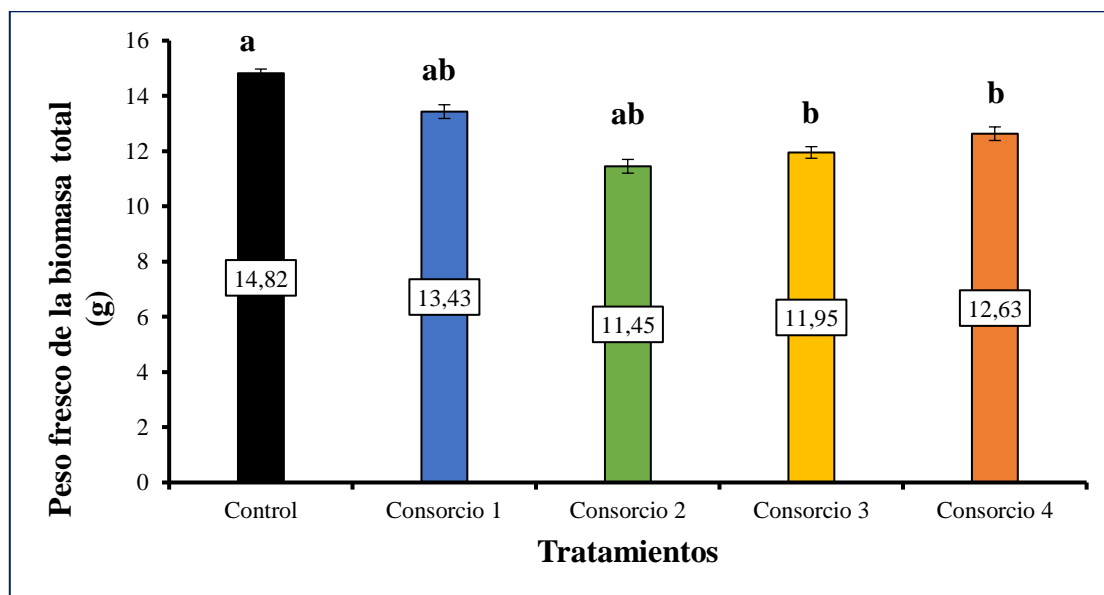
**Tabla 10**

*ANVA del peso fresco total (g) de plántulas de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.*

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Tratamientos	42,15	4	10,54	5,21	0,0048**
Repeticiones	4,82	5	0,96	0,48	0,7893
Error	40,46	20	2,02		
Total	87,43	29			

\*\*= Altamente significativo

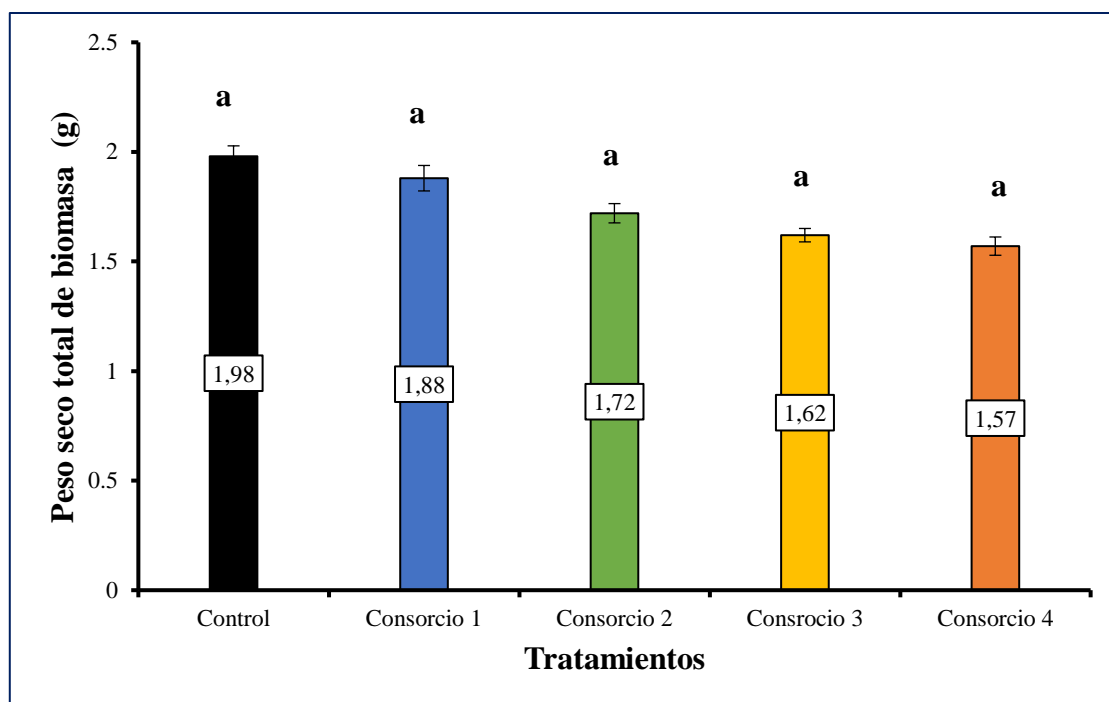
$R^2 = 84\%$                       C.V = 9,06%                       $\bar{X} = 12,85$  g



**Figura 9:** Peso fresco total (g) de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación inicial, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 10), indica que existen diferencias altamente significativas (\*\*), mostrando una media de 12,85 g, con un coeficiente de variabilidad





**Figura 10:** Peso seco total de biomasa (g) de plántulas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a los 45 días después de la inoculación final, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 11), indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (N.S), mostrando una media de 1,75 g, con un coeficiente de variabilidad de 8,76% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 53%, estos resultados indican, si bien hay un buen C.V que está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982), el  $R^2$ , indica que, la variable respuesta no fue influyente sobre los tratamientos. Además, estos resultados se ven reflejados en la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 10), la cual no hubo diferencias estadísticas significativas entre sí. Nuevamente se podría decir, que estos resultados son debido al corto tiempo que estuvieron en interacción las micorrizas con las plántulas de sacha inchi.

### 3.3.7. Contenido de clorofila (SPAD).

La Tabla 12 y la Figura 11 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el contenido de clorofila en hojas de plántulas de sacha inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

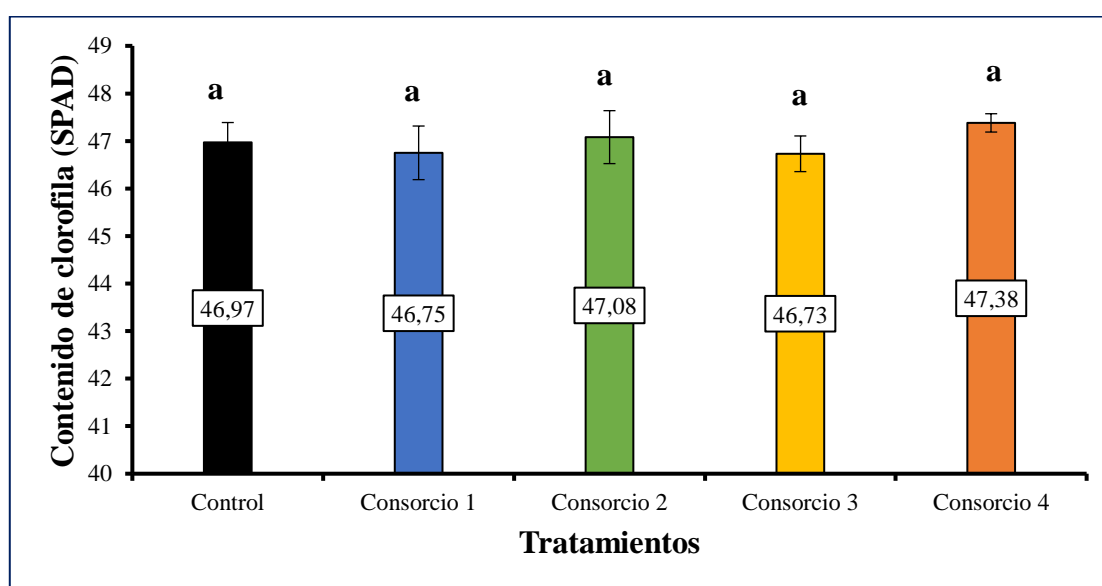


**Tabla 12**

ANVA del contenido de clorofila de las hojas de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Tratamientos	1,72	4	0,43	0,09	0,9853 N. S
Repeticiones	78,16	5	15,63	3,18	0,0284
Error	98,32	20	4,92		
Total	178,2	29			

N. S= No significativo  
 $R^2 = 45\%$                       C.V= 4,72%                       $\bar{X} = 46,98$  SPAD



**Figura 11:** Contenido de clorofila (SPAD) de las hojas de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluado a 45 días después de la inoculación inicial, en condición de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 12), indica que no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la variable respuesta (N.S), mostrando una media de 46,98 SPAD, con un coeficiente de variabilidad de 4,72% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 45%, estos resultados indican, al igual que la variable anterior, que si bien hay un buen C.V que está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982), el  $R^2$ , indica que, la variable respuesta no fue influyente sobre los tratamientos. Lo cual se comprueba con el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ), dando como resultado que no hubo diferencias estadísticas significativas entre sí. Y esto se puede notar, ya que las plantas del control todavía eran jóvenes (45 días), lo que podrían haber estado

nutriéndose de las escasas reservas del sustrato utilizado, hasta llegar a una etapa en la cual ya tendrían que depender de otras fuentes de macro y micronutrientes, como va a pasar con las plantas de los tratamientos inoculados, las cuales expresarán mejor sus indicadores fisiológicos como, rendimiento de la producción en semillas, en campo definitivo.

### 3.3.8. Colonización radicular – raíz (%).

La Tabla 13 y la Figura 12 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el porcentaje de colonización radicular de plántulas de sachá inchi evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

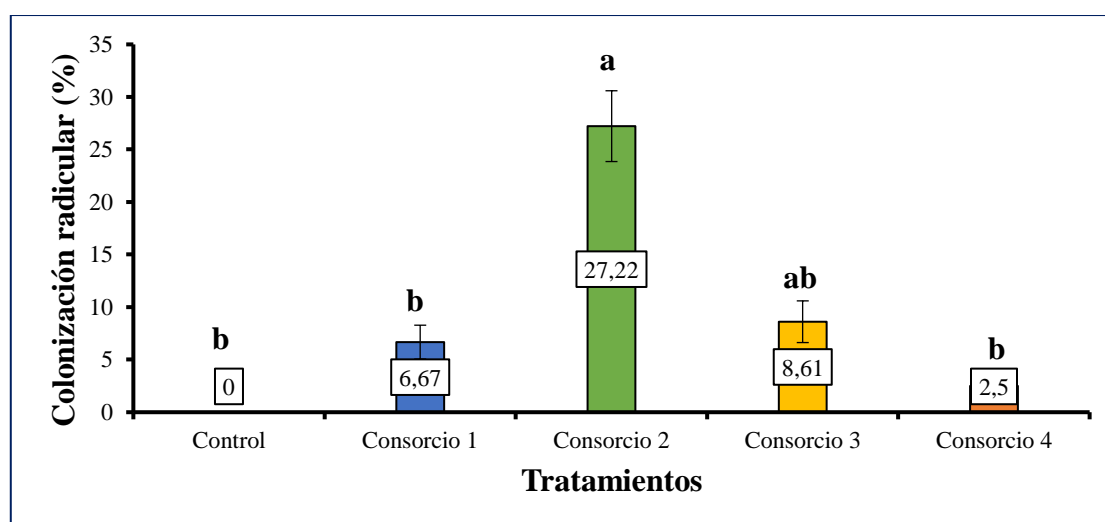
**Tabla 13**

ANVA del porcentaje de colonización radicular – raíz (%) de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a 45 días en condiciones de vivero.

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
Tratamientos	68,1	4	17,03	5,28	0,0045**
Repeticiones	16,16	5	3,23	1	0,4415
Error	64,44	20	3,22		
Total	148,69	29			

\*\*= Altamente significativo

$R^2 = 88\%$                       C.V= 9,29%                       $\bar{X} = 9\%$  colonización



**Figura 12:** Porcentaje de colonización radicular – raíz (%) de plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a 45 días después de la inoculación inicial, en condiciones de vivero.

El análisis de varianza (Tabla 13), indica que existen diferencias altamente significativas (\*\*), mostrando una media de 9% de colonización, con un coeficiente de

variabilidad (C.V) de 9,29% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 88%, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos en las evaluaciones, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados, estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en vivero (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 12), muestra que la inoculación con el consorcio micorrízico 2 fue altamente más eficiente con 27,22% de colonización, comparado con los demás tratamientos y el control sin inocular, seguido muy por detrás por el consorcio 3 con 8,61% de colonización. Sin embargo, las plántulas de sachá inchi que fueron inoculadas con los consorcios micorrízicos, presentaron mayor colonización radicular que el control sin inocular. Siendo el consorcio 4 el único que colonizó en menor grado con 2,5%.

### **3.3.9. Discusión general de los parámetros morfo – fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de vivero.**

Durante las evaluaciones periódicas a las plántulas de sachá inchi, en condiciones de vivero, el tiempo fue desfavorable, ya que en algunos indicadores como: diámetro del tallo, área foliar, número de hojas, peso seco total de plantas y contenido de clorofila, los resultados no fueron estadísticamente significativos. Esto, no quiere decir que los resultados sean malos, sino que, se tiene que entender la fisiología de las comunidades micorrízicas cuando entran en simbiosis con los cultivos, y es aún más importante cuando se trata de una inoculación inducida y no como suele suceder de manera natural en el bosque u otro ambiente natural, en donde las comunidades micorrízicas, ya están establecidas, por tanto, la simbiosis ocurre en un corto periodo de tiempo. Al contrario, lo que sucede con fuentes de inóculo que tienen que empezar a establecerse en un entorno distinto al cual fueron colectados de campo. Esta teoría está fundamentada por varios estudios, en donde, estudiaron las formas diferentes de colonización, así como una diferenciación en el tipo de propágulo formado con mayor frecuencia por diferentes taxones, la colonización puede iniciarse a partir de esporas, micelio intrarradical (MIR) de las raíces de micorriza y micelio extrarradical (MER), además que, la diversidad de hongos en las raíces de una planta puede facilitar la persistencia de simbiontes de baja calidad, lo que resulta en un beneficio de crecimiento muy limitado para su huésped (Peterson y Bradbury, 1995;

Klironomos y Hart, 2002; Tawaraya, 2003; Smith y Read, 2008; Hart *et al.* 2018). Y quizás lo más importante es que en las primeras etapas de la simbiosis las esporas alimentan las hifas en germinación a través del catabolismo de los lípidos almacenados durante unos pocos días (Smith y Read, 2008). Durante este período, las hifas exploran el suelo en busca de un huésped, pero si nunca encuentran uno, detienen su crecimiento y retraen su citoplasma de nuevo a la espora, que puede volver a estar inactiva y reiniciar el proceso de germinación una y otra vez. Es probable que esta situación no sea muy frecuente en la naturaleza debido a la amplia gama de hospedadores de estos hongos, pero es un sello distintivo de su biotrofia obligada, así como de su resistencia.

Ahora bien, hay diversos estudios que evaluaron la contribución de las micorrizas hacia cultivos importantes en el mundo, como lo realizado por (Nakmee *et al.* 2016), en donde informaron un efecto positivo en el aumento de la altura de la planta, el número de hojas, la biomasa, la absorción total de nitrógeno, fósforo y potasio, en plantas de sorgo, los cuales fueron inoculados con especies de HMA nativas (*Glomus aggregatum* F. *mosseae*, *Acaulospora longula* y *Acaulospora scrobiculata*), concluyendo que, esporas de *Acaulospora scrobiculata* son más eficientes para mejorar todos estos parámetros. En plantas de tomate inoculadas con HMA, (Balliu *et al.* 2015), demostraron un aumento del área foliar y del contenido de nitrógeno, potasio, calcio y fósforo, lo que refleja un mayor crecimiento de la planta. El café (*Coffea arabica* L.) es un cultivo altamente simbiote (Trejo *et al.* 2011) y muy estudiado interactuando con micorrizas, es por ello que, (Herrera, 2019) identificó 37 especies que corresponden a 14 géneros de endomicorrizas, siendo los más comunes *Acaulospora* y *Rhizophagus*. También encontró mayor porcentaje de colonización en raíces y densidad de esporas en plantas sin signos de infección por roya amarilla (7,70% y 661,68 esporas/100 g de suelo, respectivamente). Son escasos los trabajos de investigación realizados con micorrizas en interacción con plantas de sachá inchi, en condiciones de campo, centrándose más a nivel de vivero, uno de ellos fue desarrollado por (Tian *et al.* 2012), donde evaluaron la inoculación de HMA sobre el crecimiento y tolerancia a la sequía en plántulas de sachá inchi. La inoculación de HMA se aplicó en cuatro tratamientos: sin inoculación de HMA, *Glomus versiforme*, *Paraglomus occultum* y la combinación de ambos microorganismos. Los resultados mostraron que la colonización de HMA mejoró significativamente el crecimiento de

plántulas de sachá inchi, y el mayor desarrollo se alcanzó en plantas inoculadas doblemente. *G. versiforme* fue más eficiente que *P. occultum* y en cambio las plantas inoculadas con ambos simbiontes tuvieron una mayor proporción de área foliar y un volumen de raíces significativamente mayores en comparación con el control no inoculado y tratamientos solos de *G. versiforme* y *P. occultum*, lo que indica un efecto sinérgico en la inoculación de dos HMA.

Por su parte, (Mozombite, 2017) evaluó la interacción de consorcios micorrízicos sobre la dinámica poblacional del nemátodo del nudo (*Meloidogyne incognita*) en plántulas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en condiciones de vivero, mostrando resultados sobresalientes con respecto al efecto bioprotector contra *Meloidogyne incognita* en plántulas de sachá inchi, porque los tratamientos inoculados con CHMA nativos presentaron colonización micorrízica en diferentes niveles. Con respecto a la interacción de micorrizas contra nemátodos en los cultivos, como tomate inoculado con esporas de *F. mosseae* indujeron resistencia sistémica tanto contra el nematodo sedentario *Meloidogyne incognita* como contra el nematodo migratorio *Pratylenchus penetrans* (Vos *et al.* 2012). La presencia de este HMA redujo la infección por nemátodos en un 45% y un 87% para *M. incognita* y *P. penetrans*, respectivamente, en plantas colonizadas por HMA en comparación con los controles. Otros estudios llevados a cabo sobre exudados radiculares han demostrado que la reducción de la infección por nemátodos en plantas micorrízicas está probablemente relacionada con una alteración de los exudados radiculares por HMA (Vos *et al.* 2011). De hecho, la aplicación de exudados de raíces micorrízicas redujo aún más la penetración de nemátodos en plantas micorrízicas y nemátodos paralizados temporalmente, en comparación con la aplicación de agua o exudados de raíces no micorrízicos.

Un indicador muy importante fue la colonización radicular, evidenciando un repunte del consorcio 2 sobre los demás tratamientos, esto debido posiblemente a que es el único consorcio con mayor presencia de especies, como son: *Acaulospora spinosissima*, *Cloroideglomus claroideum*, *Glomus sp.*, *Rhizophagus agregatum*, *Rhizophagus fasciculatus*, *Glomus microcarpum* y *Glomus macrocarpum*, lo que trajo como consecuencia que una especie haya sido más agresiva en comparación con las demás, sobre esto, varios estudios informaron que las respuestas de las plantas a la colonización por HMA varían según la composición del inóculo, y una combinación

de hongos micorrícicos es más eficaz que un inóculo monoespecífico (Nakmee *et al.* 2016; Kim *et al.* 2017), esta afirmación quizás responda a lo que pudo haber pasado con los demás consorcios quienes a nivel de vivero, no evidenciaron tener mayor porcentaje de colonización de raíces de sachá inchi. Por lo tanto, la inoculación de plántulas de especies leñosas en condiciones de vivero es una estrategia valiosa para producir plántulas con buen vigor, lo que se traduciría en una alta supervivencia y crecimiento en el campo (Tahat *et al.* 2008). (Ravnskov y Jakobsen, 1995), indican que la contribución de la vía micorrícica a la adquisición de nutrientes también depende de los efectos de los hongos sobre la actividad de la vía vegetal y de la eficiencia con la que ambos socios interactúan e intercambian nutrientes a través de la interfaz micorrícica (Farmer *et al.* 2007).

### **3.4. Parámetros morfológicos y fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo.**

Durante las evaluaciones en campo definitivo, se presentaron complicaciones al momento de la toma de datos, por ejemplo, los indicadores: número de hojas, altura de plantas, área foliar, floración y fructificación, no pudieron ser medidos debido a diferentes factores ambientales, como la fisiología misma de la planta de sachá inchi en condiciones de campo, quien crece indeterminadamente y además necesita de un tutor o espaldera para un mejor manejo agronómico (esto impidió evaluar la altura de plantas, número de hojas y área foliar), por su parte las condiciones climáticas de las parcelas instaladas impidieron evaluar la floración y fructificación, debido a que este fenómeno altera la fisiología de las plantas, acelerando la presencia de flores y fructificación (invierno) o demorando la presencia de estos indicadores (verano). Por lo cual, fue conveniente solo evaluar indicadores que se puedan evaluar en estas condiciones no controladas, como son: el diámetro del tallo y contenido de clorofila.

#### **3.4.1. Diámetro de tallo (mm) de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), en condiciones de campo.**

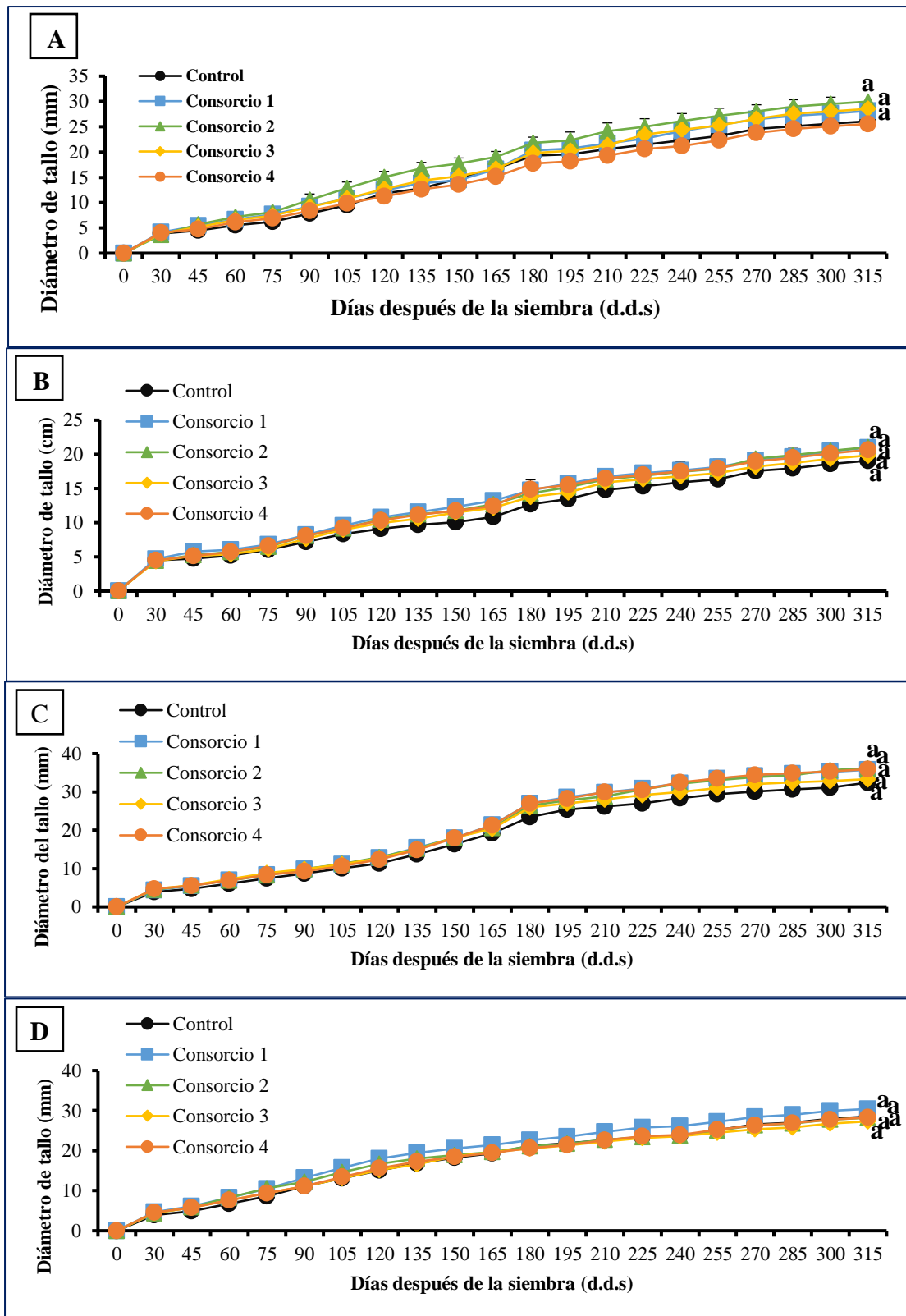
##### **3.2.1.1. Parcelas de las cuatro localidades y provincias de San Martín en campo.**

La Tabla 14 y la Figura 13 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el diámetro de plantas de sachá inchi evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo.

**Tabla 14**

*ANVA del diámetro de tallo (mm) de las plantas de sachá inchi evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo, de las cuatro localidades de la región de San Martín.*

Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Picota/ Huañipo</b>	<b>Tratamientos</b>	148,62	4	37,15	2,26	0,0792 N. S
	<b>Bloques</b>	40,5	2	20,25	1,23	0,3024 N. S
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	397,73	8	49,72	3,02	0,0092 **
	<b>Error</b>	674,09	41	16,44		
	<b>Total</b>	1 304,85	55			
		N. S= No significativo		**= Altamente significativo		
		R <sup>2</sup> = 48%		C.V= 14,69%		X̄= 27,50 mm
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Lamas/ Palmiche</b>	<b>Tratamientos</b>	28,95	4	7,24	0,87	0,4885 N. S
	<b>Bloques</b>	181,77	2	90,89	10,96	0,0002 **
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	147,14	8	18,39	2,22	0,0458 *
	<b>Error</b>	340,01	41	8,29		
	<b>Total</b>	710,02	55			
		N. S= No significativo		**= Altamente significativo		*= Significativo
		R <sup>2</sup> = 52%		C.V= 14,14%		X̄= 20,33 mm
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Bellavista/ Dos de Mayo</b>	<b>Tratamientos</b>	142,34	4	35,59	2,72	0,0409 *
	<b>Bloques</b>	118,14	2	59,07	4,52	0,0162 *
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	223,04	8	27,88	2,13	0,0518 N. S
	<b>Error</b>	587,72	45	13,06		
	<b>Total</b>	1 071,24	59			
		N. S= No significativo		*= Significativo		
		R <sup>2</sup> = 45%		C.V= 10,41%		X̄= 34,73 mm
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>El Dorado/ Santa Rosa</b>	<b>Tratamientos</b>	63,91	4	15,98	2,01	0,1101 N. S
	<b>Bloques</b>	91,23	2	45,62	5,73	0,0061 **
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	50,14	8	6,27	0,79	0,6165 N. S
	<b>Error</b>	350,36	44	7,96		
	<b>Total</b>	555,66	58			
		N. S= No significativo		**= Altamente Significativo		
		R <sup>2</sup> = 37%		C.V= 9,88%		X̄= 28,51 mm



**Figura 13:** Diámetro de tallo (mm) de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), medido en intervalo de 15 días después de 315 d.d.s, en condiciones de campo, se determinaron con HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). A) Grafico de la provincia de Picota – Huañipo, B) Grafico de la provincia de Lamas – Palmiche, C) Grafico de la provincia de Bellavista – Dos de Mayo, D) Grafico de la provincia El Dorado – Santa Rosa.



El análisis de varianza (Tabla 14), indica que en la Localidad de Huañipo – Provincia de Picota, no existen diferencias significativas (N.S) en los factores tratamientos y bloques, pero presenta diferencias altamente significativas (\*\*) en la interacción, lo que indica que uno de los factores tiene más influencia sobre el indicador evaluado. Además, los resultados muestran una media de 27,50 mm, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 14,69% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 48%, estos resultados indican que no hay confiabilidad en los datos obtenidos, ya que el  $R^2$  está demostrando que el diámetro del tallo no influye sobre los tratamientos estudiados y la utilización de bloques no tuvo influencia, solo el C.V está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982). Todos estos resultados son contrastados con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), la cual no tuvo diferencias significativas entre sí (Figura 13). Además, como se mencionaba anteriormente, el rango de la varianza es estrecho, lo que da entender que, por ahora, en esta localidad, este indicador morfológico no presentó mayor diferencia.

El análisis de varianza (Tabla 14), indica que en la localidad de Palmiche – Provincia de Lamas, no existen diferencias significativas (N.S) en el factor tratamientos, pero presenta diferencias altamente significativas (\*\*) en el factor bloques y diferencias significativas en la interacción de ambos factores, lo que indica que solo el factor bloques tiene más influencia sobre el indicador evaluado. Además, los resultados muestran una media de 20,33 mm, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 14,14% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 52%, estos resultados indican que no hay confiabilidad en los datos obtenidos, ya que el  $R^2$  está demostrando que el diámetro del tallo no influye sobre los tratamientos estudiados y la utilización de bloques si tuvo influencia, solo el C.V está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982). Por tanto, estos resultados al ser contrastados con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), nos indican que no tuvo diferencias significativas entre sí (Figura 13). Resultados semejantes con la anterior parcela, hasta ahora.

El análisis de varianza (Tabla 14), indica que en la localidad de Dos de Mayo – Provincia de Bellavista, existen diferencias significativas (\*) en los factores tratamientos y bloques, pero en este caso no presenta diferencias significativas (N.S) en la interacción de ambos factores, lo que indica que los factores no tuvieron suficiente diferencia para tener influencia sobre el indicador evaluado. Además, los resultados muestran una media de 34,73 mm, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 10,41% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 45%, estos resultados indican que no hay confiabilidad en los datos obtenidos, ya que el  $R^2$  está

demostrando que el diámetro del tallo no influye sobre los tratamientos estudiados y la utilización de bloques si tuvo influencia, pero solo el C.V está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982). Por tanto, estos resultados al ser contrastados con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), nos indican que no tuvo diferencias significativas entre sí (Figura 13).

El análisis de varianza (Tabla 14), indica que en la localidad de Santa Rosa – provincia El Dorado, no existen diferencias significativas (N.S) en el factor tratamientos y en la interacción de ambos factores, pero presenta diferencias altamente significativas (\*\*) en los bloques utilizados, lo que indica que solo la utilización de bloques tuvo influencia sobre el indicador evaluado. Además, los resultados muestran una media de 28,51 mm, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 9,88% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 37%, estos resultados indican que no hay confiabilidad en los datos obtenidos, ya que el  $R^2$  está demostrando que el diámetro del tallo no influye sobre los tratamientos estudiados, pero solo el C.V está dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982). Por tanto, estos resultados al ser contrastados con la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), nos indican que no tuvo diferencias significativas entre sí (Figura 13).

En conclusión, en todas las parcelas instaladas con plantas de sachá inchi inoculadas con CHMA no se presentó ninguna diferencia estadística significativa, corroborando quizás la poca importancia que tiene este indicador, ya sea en condiciones de vivero, como de campo, quizás debido a que el sachá inchi es una planta leñosa, la cual tiene una asimilación y desarrollo lento de los tejidos del tallo.

### **3.4.2. Contenido de clorofila (SPAD) de las plantas de sachá inchi en condiciones de campo.**

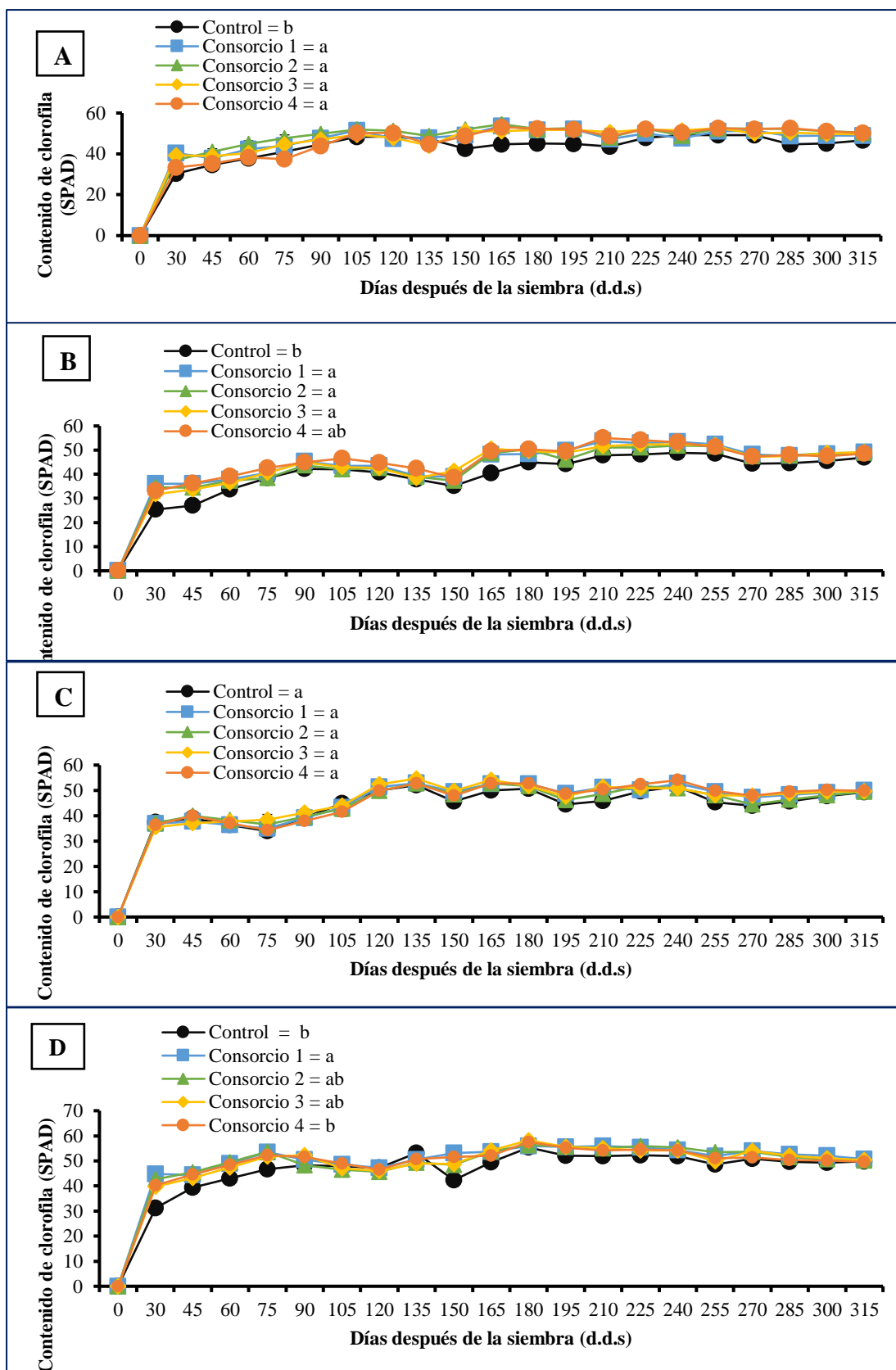
#### ***3.4.2.1. Parcelas de las cuatro localidades y provincias de la región de San Martín.***

La Tabla 15 y la Figura 14 muestran el ANVA y la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) respectivamente, para el contenido de clorofila de plantas de sachá inchi evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo.

**Tabla 15**

ANVA del contenido de clorofila de las hojas de plantas de *sacha inchi* (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados a los 315 d.d.s en condiciones de campo de las cuatro localidades de la región de San Martín.

Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Picota / Huañipo</b>	<b>Tratamientos</b>	113,19	4	28,3	9,67	<0,0001**
	<b>Bloques</b>	32,91	2	16,45	5,62	0,0007**
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	110,39	8	13,8	4,71	0,0004**
	<b>Error</b>	120,03	41	2,93		
	<b>Total</b>	384,84	55			
		**= Altamente significativo				
		R <sup>2</sup> = 89%	C.V= 3,48%		X̄= 49,15 SPAD	
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Lamas / Palmiche</b>	<b>Tratamientos</b>	24,93	4	6,23	5,04	0,0021**
	<b>Bloques</b>	116,87	2	58,44	47,21	<0,0001**
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	28,34	8	3,54	2,86	0,0126*
	<b>Error</b>	50,75	41	1,24		
	<b>Total</b>	226,6	55			
		**= Altamente significativo		*= Significativo		
		R <sup>2</sup> = 78%	C.V= 2,29%		X̄= 48,59 SPAD	
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Bellavista / Dos de Mayo</b>	<b>Tratamientos</b>	3,89	4	0,97	2,47	0,0582 N. S
	<b>Bloques</b>	2,11	2	1,06	2,68	0,0797 N. S
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	3,25	8	0,41	1,03	0,4273 N. S
	<b>Error</b>	17,74	45	0,39		
	<b>Total</b>	26,99	59			
		N. S= No Significativo				
		R <sup>2</sup> = 79%	C.V= 1,27%		X̄= 49,61 SPAD	
Provincia/ Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>El Dorado / Santa Rosa</b>	<b>Tratamientos</b>	9,92	4	2,48	3,59	0,0129*
	<b>Bloques</b>	5,08	2	2,54	3,68	0,0334*
	<b>Tratamientos * Bloques</b>	8,63	8	1,08	1,56	0,1644 N. S
	<b>Error</b>	30,42	44	0,49		
	<b>Total</b>	54,44	58			
		*= Significativo		N. S= No Significativo		
		R <sup>2</sup> = 84%	C.V= 1,66%		X̄= 50,10 SPAD	



**Figura 14:** Contenido de clorofila (SPAD) de hojas de sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados en intervalo de 15 días después de 315 d.d.s en condiciones de campo, se determinaron con HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ). A) Grafico de la provincia de Picota – Huañipo, B) Grafico de la provincia de Lamas – Palmiche, C) Grafico de la provincia de Bellavista – Dos de Mayo, D) Grafico de la provincia El Dorado – Santa Rosa.

El análisis de varianza (Tabla 15), indica que en la localidad de Huañipo – provincia de Picota, existen diferencias altamente significativas (\*\*), tanto en los tratamientos como en los bloques utilizados, mostrando una media de 49,15 SPAD, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 3,48% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 89%. Estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques si tuvo gran influencia, además, están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 14), muestra el comportamiento de la variable contenido de clorofila expresado en el último tiempo de evaluación, siendo los consorcios 1; 2; 3 y 4, los tratamientos que tuvieron diferencias estadísticas significativas, comparado con el control sin inocular (quien tuvo el menor resultado de contenido de clorofila). Lo que es un indicio que las esporas presentes en este consorcio, formaron simbiosis con las plantas de sacha inchi, además de considerar los suelos de campo en esta localidad y su biología misma, lo que resultó en una interacción favorable a las plantas establecidas de sacha inchi.

El análisis de varianza (Tabla 15), indica que en la localidad de Palmiche – provincia de Lamas, existen diferencias altamente significativas (\*\*), tanto en los tratamientos y en los bloques utilizados y resultados significativos (\*) en la interacción, mostrando una media de 48,59 SPAD, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 2,29% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 78%, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, además, están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo, (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 14), muestra el comportamiento de la variable contenido de clorofila expresado en el último tiempo de evaluación (315 d.d.s), siendo, los consorcios 1; 2 y 3, los que tuvieron diferencias estadísticas significativas, comparado con el tratamiento 4 y el control sin inocular. Lo que es un indicio que las esporas de estos

consorcios, se están manifestando como muy favorables para las plantas de sachá inchi en esta localidad, además, es un resultado interesante ya que, es casi semejante a lo reportado en la localidad de Huañipo – Picota, en donde se reportó a los 4 consorcios micorrícicos como mejores.

El análisis de varianza (Tabla 15), indica que la localidad de Dos de Mayo – provincia de Bellavista, no existen diferencias estadísticas significativas (N. S) en ningún factor estudiado, mostrando una media de 49,61 SPAD, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 1,27% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 79%, estos resultados no indican confiabilidad en los datos obtenidos, ya que los tratamientos no mostraron tener afinidad con la variable respuesta, además, están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 14), solamente muestra el comportamiento de la variable contenido de clorofila expresado en el último tiempo de evaluación, ya que no se mostró diferencias estadísticas significativas entre los consorcios evaluados. Lo que se puede corroborar con la diferencia que existe con la varianza, ya que es muy estrecho los resultados, siendo solo de -1 la diferencia entre el mejor con el más bajo resultado.

El análisis de varianza (Tabla 15), indica que en la localidad de Santa Rosa – provincia El Dorado, existen diferencias significativas (\*) tanto en los bloques utilizados como en los tratamientos, pero sin diferencias estadísticas significativas (N. S) en la interacción, mostrando una media de 50,10 SPAD, con un coeficiente de variabilidad (C.V) de 1,66% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 84%, estos resultados indican solo confiabilidad en los tratamientos y bloques analizados por separado pero no en la interacción, la utilización de bloques tuvo influencia y están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 14), muestra el comportamiento de la variable contenido de clorofila expresado en el último tiempo de evaluación, siendo, el consorcio 1, el que tuvo diferencias estadísticas significativas, comparado con los demás tratamientos y el

control sin inocular. Lo que es un indicio que las esporas de estos consorcios, se están manifestando como muy favorables (en especial el consorcio micorrícico 1) para las plantas de sachá inchi en esta localidad. Y a diferencia de las demás localidades, en esta, solo un consorcio se muestra como favorable, siendo por lo general muy estrecha la varianza entre los resultados obtenidos.

### **3.4.3. Discusión general de los parámetros morfológicos y fisiológicos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo de las cuatro localidades de la región de San Martín.**

En general se puede decir que solo el contenido de clorofila (SPAD) presente en las hojas de sachá inchi instaladas en las cuatro parcelas demostrativas, fue el indicador más significativo, lo cual se va discutir, dejando de lado al diámetro del tallo, el cual no presentó ninguna diferencia en los tratamientos estudiados, posiblemente a que las plantas de sachá inchi al ser leñosas, la absorción y aumento del tejido del tallo sea lento. Bien, en cuanto a la clorofila, está estrechamente relacionado a la asimilación de nitrógeno (N), y al aumento de las actividades fotosintéticas y otras funciones de las hojas que está directamente relacionada con la absorción de N, P y carbono asimilados por los HMA. Además, se ha observado que los HMA mantienen la absorción de P y N, lo que finalmente ayuda en el desarrollo de las plantas a niveles más altos y más bajos de P bajo diferentes regímenes de riego (Liu *et al.* 2018).

El nitrógeno (N), que es la principal fuente de nutrición del suelo, es un fertilizante mineral bien conocido, incluso en aquellas áreas donde hay suficiente ganado y estiércol de granja. Muchos científicos han informado del papel de los HMA en la absorción de nutrientes del suelo, especialmente N y P, que pueden promover eficazmente el crecimiento de plantas hospedantes (Smith *et al.* 2011). En las plantas superiores y en algunos cultivos, el N es un factor limitante del crecimiento principal. Varios estudios han explicado que los HMA tienen la capacidad de absorber y transferir N a las plantas cercanas o plantas hospedadoras (Battini *et al.* 2017; Turrini *et al.* 2018). Las hifas extrarradicales de HMA pueden absorber y asimilar N inorgánico (Jin *et al.* 2005). Varios estudios han demostrado que aproximadamente el 20-75% de la absorción total de N de las plantas micorrizadas puede ser transferida por los HMA a sus huéspedes (Tanaka y Yano, 2005; Govindarajulu *et al.* 2005;

Ahanger *et al.* 2014; Hameed *et al.* 2014; Hashem *et al.* 2018). El aumento de N en plantas colonizadas con HMA evidentemente da como resultado un mayor contenido de clorofila, ya que las moléculas de clorofila pueden atrapar N de manera efectiva (De Andrade *et al.* 2015).

La inoculación de micorrizas mejoró notablemente la tasa fotosintética y otros rasgos de intercambio de gases, el contenido de clorofila y la eficiencia del uso del agua en *Ocimum basilicum* L. (Elhindi *et al.* 2017). Las plantas de *Allium sativum* inoculadas con HMA mostraron características de crecimiento mejoradas, incluido el índice de área foliar y la biomasa fresca y seca (Borde *et al.* 2010). Recientemente, (Wang *et al.* 2018) han informado un aumento considerable en los pesos frescos y secos, y en la concentración de N de los brotes y raíces debido a la inoculación de micorrizas. Además, la inoculación de micorrizas a *Capsicum annuum* mostró un contenido mejorado de clorofila y una absorción de  $Mg^{2+}$  y N junto con un transporte reducido de  $Na^{+}$  (Cekic *et al.* 2012). Por su parte, (Santander *et al.* 2019) han demostrado con la lechuga, que las plantas micorrícicas tenían mayor producción de biomasa, mayor síntesis de prolina, mayor absorción de N y cambios notables en las relaciones iónicas, en particular menor acumulación de  $Na^{+}$ , que las plantas no micorrícicas.

Todos estos antecedentes realizados en condiciones no controladas, dan entender la importancia de los HMA con diferentes plantas cultivables, ya que, no hay muchos o ningún trabajo de investigación realizado con micorrizas inoculadas en plantas, en campo definitivo, en la región San Martín o el Perú, se puede decir que, estos parámetros no son representativos para decir si fue o no importante la inoculación previa (además de la adaptación en vivero) con micorrizas hacia plantas de sachá inchi. Sin embargo, lo más importante es la capacidad de producción, representada en coleccionar las semillas de sachá inchi, ya que es ahí donde se observará si los consorcios inoculados tuvieron algún cambio en la fisiología de las plantas, estos resultados se describen a continuación.

### **3.5. Parámetros productivos de plantas de sachá inchi en condiciones de campo**

#### **3.5.1. Parcelas de las cuatro localidades de San Martín.**

La Tabla 16 muestra el ANVA de los cuatro sub-indicadores de rendimiento: número de cápsulas cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por



cápsula y peso de semillas, y, además, la Figura 15 muestra, la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para estos indicadores de rendimiento, evaluados durante 7 fechas, con intervalos de 15 días en condiciones de campo.

**Tabla 16**

*ANVA de los sub-indicadores de rendimiento de producción de plantas de sachu inchi, evaluados durante siete fechas en condiciones de campo, en las cuatro localidades de la región de San Martín.*

Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Número total de cápsulas cosechadas</b>						
Tratamientos		7 864,27	4	1 966,07	3,24	0,0204*
Bloques		8 957,10	2	4 478,55	7,37	0,0017**
Tratamientos * Bloques		46 386,73	8	5 798,34	9,54	<0,0001**
Error		27 339,50	45	607,54		
Total		90 547,60	59			
R <sup>2</sup> = 82%		C.V= 7,23%			X̄= 66 cápsulas	
<b>Peso total de cápsulas cosechadas</b>						
Tratamientos		681 776,19	4	170 444,05	4,48	0,0039**
Bloques		889 936,94	2	444 968,47	11,69	<0,0001**
Tratamientos * Bloques		3 048 888,8	8	381 111,09	10,01	<0,0001**
Error		1 712 746,7	45	38 061,04		
Total		6 333 348,6	59			
R <sup>2</sup> = 83%		C.V= 9,03%			X̄= 557,04 g	
<b>Número total de semillas por cápsula</b>						
Tratamientos		136 220,98	4	34 055,25	3,89	0,0086**
Bloques		175 944,01	2	87 972	10,04	0,0002**
Tratamientos * Bloques		642 064,87	8	80 258,11	9,16	<0,0001**
Error		394 410,19	45	8 764,67		
Total		394 410,19	59			
R <sup>2</sup> = 81%		C.V= 6,17%			X̄= 259 semillas	
<b>Peso total de semillas</b>						
Tratamientos		205 408,18	4	51 352,05	4,69	0,003**
Bloques		272 995,37	2	136 497,69	12,45	<0,0001**
Tratamientos * Bloques		903 238,95	8	112 904,87	10,3	<0,0001**
Error		493 178,53	45	10 959,52		
Total		1 874 821	59			
R <sup>2</sup> = 84%		C.V= 5,25%			X̄= 297 g	
**= Altamente Significativo			*= Significativo			
Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Número total de cápsulas cosechadas</b>						
Tratamientos		824,40	4	206,1	12,22	0,0023**
Bloques		240,03	2	120,02	8,29	0,0052**
Tratamientos * Bloques		916,30	8	114,54	11,23	0,0033**

	Error	4 186	45	93,02		
	Total	6 166,73				
	R <sup>2</sup> = 82%		C.V= 9,88%		X̄= 13 cápsulas	
<b>Lamas / Palmiche</b>	<b>Peso total de cápsulas cosechadas</b>					
	Tratamientos	65 122,21	4	16 280,55	12,42	0,0018**
	Bloques	15 002,52	2	7 501,26	9,12	0,0061**
	Tratamientos * Bloques	81 292,57	8	10 161,57	21,51	<0,0001**
	Error	302 135,33	45	6 714,12		
	Total	463 552,63	59			
	R <sup>2</sup> = 85%			C.V= 9,41%		X̄= 116,37 g
	<b>Número total de semillas por cápsula</b>					
	Tratamientos	12 427,27	4	3 106,82	22,36	0,0079**
	Bloques	2 973,73	2	1 486,87	31,13	0,0027**
	Tratamientos * Bloques	12 843,93	8	1 605,49	51,22	0,0008**
	Error	59 330	45	1 318,44		
	Total	87 574,93	59			
R <sup>2</sup> = 82%			C.V= 8,85%		X̄= 51 semillas	
<b>Peso total de semillas</b>						
Tratamientos	24 738,37	4	6 184,59	62,67	<0,0001**	
Bloques	5 820,22	2	2 910,11	81,26	<0,0001**	
Tratamientos * Bloques	26 841,01	8	3 355,13	121,45	<0,0001**	
Error	104 292,84	45	2 317,62			
Total	161 692,45	59				
R <sup>2</sup> = 85%			C.V= 7,62%		X̄= 65 g	
	**= Altamente Significativo					
<b>Provincia / Localidad</b>	<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-VALOR</b>
<b>Bellavista / Dos de Mayo</b>	<b>Número total de cápsulas cosechadas</b>					
	Tratamientos	12 583,83	4	3 145,96	41,88	0,0006**
	Bloques	8 922,90	2	4 461,45	32,66	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	24 340,77	8	3 042,6	61,82	<0,0001**
	Error	75 341,71	45	1 674,26		
	Total	121 189,25	59			
	R <sup>2</sup> = 88%			C.V= 9,45%		X̄= 83 cápsulas
	<b>Peso total de cápsulas cosechadas</b>					
	Tratamientos	771 161,9	4	192 790,48	311,49	<0,0001**
	Bloques	462 458,45	2	231 229,23	571,79	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	2 279 502,1	8	284 937,77	489,72	<0,0001**
	Error	5 812 902,3	45	129 175,61		
	Total	9 326 024,8	59			
R <sup>2</sup> = 88%			C.V= 8,11%		X̄= 747,03 g	
<b>Número total de semillas por cápsula</b>						
Tratamientos	210 844,48	4	52 711,12	121,79	<0,0001**	
Bloques	113 734,13	2	56 867,06	231,93	<0,0001**	
Tratamientos * Bloques	445 224,61	8	55 653,08	421,89	<0,0001**	

	Error	1 327 264,3	45	29 494,76		
	Total	2 097 067,5	59			
	R <sup>2</sup> = 77%		C.V= 5,6%		$\bar{X}$ = 333 semillas	
	<b>Peso total de semillas</b>					
	Tratamientos	233 097,2	4	58 274,3	891,42	<0,0001**
	Bloques	181 410,49	2	90 705,25	672,21	0,0001**
	Tratamientos * Bloques	693 857,45	8	86 732,18	792,11	<0,0001**
	Error	1 849 832,4	45	41 107,39		
	Total	2 958 197,5	59			
	R <sup>2</sup> = 87%		C.V= 5,29%		$\bar{X}$ = 403,12 g	
	**= Altamente Significativo			*= Significativo		
<b>Provincia / Localidad</b>	<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>P-VALOR</b>
	<b>Número total de cápsulas cosechadas</b>					
	Tratamientos	11 367	4	2 841,75	343,19	<0,0001**
	Bloques	733,23	2	366,62	320,41	<0,001**
	Tratamientos * Bloques	4 890,60	8	611,32	640,69	<0,001**
	Error	40 127,75	45	891,73		
	Total	57 118,58	59			
	R <sup>2</sup> = 81%		C.V= 7,84%		$\bar{X}$ = 62 cápsulas	
	<b>Peso total de cápsulas cosechadas</b>					
	Tratamientos	600 328,71	4	150 082,18	123,28	<0,0001**
	Bloques	82 596,61	2	41,298,31	320,9	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	382 942,16	8	47 867,77	121,05	<0,0001**
	Error	2 059 111	45	45 758,02		
	Total	3 124 978,5	59			
	R <sup>2</sup> = 84%		C.V= 6,12%		$\bar{X}$ = 463,79 g	
<b>El Dorado / Santa Rosa</b>	<b>Número total de semillas por cápsula</b>					
	Tratamientos	180 686,43	4	45 171,61	213,57	<0,0001**
	Bloques	7 929,12	2	3 964,56	132,31	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	73 981,18	8	9 247,65	120,73	<0,0001**
	Error	569 002,76	45	12 644,51		
	Total	831 599,49	59			
	R <sup>2</sup> = 82%		C.V= 7,82%		$\bar{X}$ = 235 semillas	
	<b>Peso total de semillas</b>					
	Tratamientos	184 210,02	4	46 052,5	123,52	<0,0001**
	Bloques	7 660,92	2	3 830,46	210,29	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	92 025,75	8	11 503,22	90,88	<0,0001**
	Error	589 521,6	45	13 100,48		
	Total	873 418,28	59			
	R <sup>2</sup> = 87%		C.V= 7,46%		$\bar{X}$ = 241 g	
	**= Altamente Significativo					

El análisis de varianza (Tabla 16), indica que en la localidad de Huañipo – provincia de Picota, existen diferencias altamente significativas (\*\*) y significativas (\*), en los cuatro sub – indicadores de rendimiento de plantas de sachá inchi (número

de cápsulas cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por cápsula y peso de semillas), mostrando medias de 66 cápsulas; 557,04 g; 259 semillas y 297 g, coeficientes de variabilidad (C.V) de 7,23%; 9,03%; 6,17% y 5,25% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 82%; 83%; 81% y 84%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 15), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento expresado en la suma de siete evaluaciones secuenciales, con intervalos de 15 días, siendo, el consorcio 3, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en todos los indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas.

El análisis de varianza (Tabla 16), indica la localidad de Palmiche – provincia de Lamas, que existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los cuatro sub – indicadores de rendimiento de plantas de sachá inchi (número de cápsulas cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por cápsula y peso de semillas), mostrando medias de 13 cápsulas; 116,37 g; 51 semillas y 65 g, coeficientes de variabilidad (C.V) de 9,88%; 9,41%; 8,85% y 7,62% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 82%; 85%; 82% y 85%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 15), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento, expresado en la suma de siete evaluaciones secuenciales, con intervalos de 15 días, siendo, el consorcio 2, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en todos los indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas.

El análisis de varianza (Tabla 16), indica que la localidad de Dos de Mayo – provincia de Bellavista, existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los cuatro sub – indicadores de rendimiento de plantas de sachá inchi (número de cápsulas

cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por cápsula y peso de semillas), mostrando medias de 83 cápsulas; 747,03 g; 333 semillas y 403,12 g, coeficientes de variabilidad (C.V) de 9,45%; 8,11%; 5,6% y 5,29% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 88%; 88%; 77% y 87%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

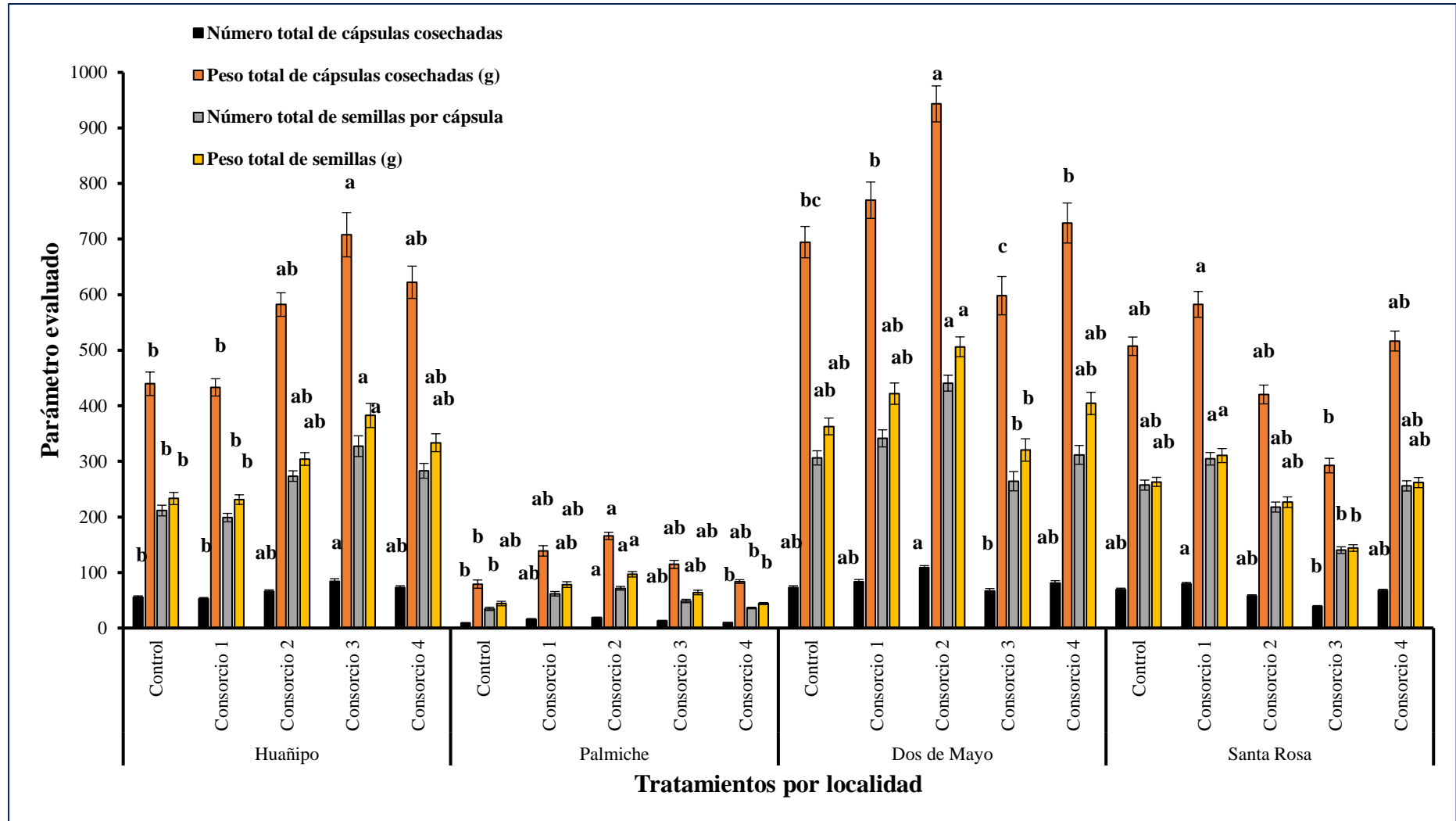
En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 15), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento, expresado en la suma de siete evaluaciones secuenciales, con intervalos de 15 días, siendo, el consorcio 2, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en todos los indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas.

El análisis de varianza (Tabla 16), indica que la localidad de Santa Rosa – provincia El Dorado, que existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los cuatro sub – indicadores de rendimiento de plantas de sacha inchi (número de cápsulas cosechadas, peso de cápsulas cosechadas, número de semillas por cápsula y peso de semillas), mostrando medias de 62 cápsulas; 463,79 g; 235 semillas y 241 g, coeficientes de variabilidad (C.V) de 7,84%; 6,12%; 7,82% y 7,46% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 81%; 84%; 82% y 87%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 15), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento, expresado en la suma de siete evaluaciones secuenciales, con intervalos de 15 días, siendo, el consorcio 1, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en todos los indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas.

Además de ello, la Figura 15 muestra el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ), comparando las cuatro localidades estudiadas, en donde da detalle de los diferentes resultados obtenidos, de los cuales los consorcios micorrícicos 1 (Santa

Rosa – El Dorado); 2 (Dos de Mayo – Bellavista y Palmiche – Lamas) y 3 (Huañipo – Picota), fueron los mejores inóculos utilizados en plantas de sachá inchi, en condiciones de campo definitivo, ya que tuvieron los rendimientos más altos en cuanto a la producción de sachá inchi. Esto da entender que, estos consorcios se comportaron distintamente al momento de realizar simbiosis micorrícica con las raíces del sachá inchi, y que muy probablemente sean dependientes de las condiciones del suelo, clima o precipitación del lugar de instalación de la parcela demostrativa, para que hayan tenido este comportamiento singular.



**Figura 15:** Rendimiento de plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados durante 7 fechas, con un intervalo de cada 15 días, en las cuatro localidades de la región San Martín, en condiciones de campo, con HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### **3.5.2. Discusión general de los parámetros productivos de plantas de sachá inchi condiciones de campo de las cuatro localidades de la región de San Martín.**

Según los resultados obtenidos en las evaluaciones periódicas realizadas, se observa que, no hay un factor común en cuanto a saber si un consorcio micorrízico fue eficiente en todas las localidades en donde fueron instaladas las parcelas demostrativas, ya que, hubo resultados diferentes en cada localidad. Por ejemplo, en la localidad de Huañipo, el consorcio 3 fue más eficiente, en la localidad de Palmiche y la localidad de Dos de Mayo fue el consorcio 2 y en la localidad de Santa Rosa fue el consorcio 1, quizás esto sea lo esperado o quizás no, todo depende de entender la interrelación que existe en cada localidad con las especies micorrízicas inoculadas, se sabe que hay diversidad de especies que existe en cada fuente de inóculo, el hecho de que en campo no hay manera de controlar las poblaciones naturales de micorrizas arbusculares, las cuales ya están establecidas en un nicho ecológico (Cottenie, 2005), siendo en su mayoría especies ectomicorrizas (Van Der Linde *et al.* 2018). Todo lo expuesto, se puede discutir con diversos investigadores, quienes mencionan que las variables abióticas (como, suelo y clima) impactan en las comunidades de hongos asociados a las raíces (Li *et al.* 2018; Van Geel *et al.* 2018; Wu *et al.* 2018). Por su parte, (Cox *et al.* 2010), mencionan que los niveles de nitrógeno interfieren en la abundancia de hongos. Este último, podría ser pieza fundamental en las diferencias de resultados entre consorcios micorrízicos y las localidades estudiadas, además, que la distancia geográfica predice la distribución de la comunidad biótica, ya que la dispersión de los individuos de un sitio a otro podría verse obstaculizada por la distancia espacial entre los sitios (Hubbell, 2001), y también que, los taxones de hongos suelen mostrar características funcionales variables, como la capacidad de dispersión, germinación y colonización, que también contribuyen a la limitación de la dispersión (Peay *et al.* 2012; Kivlin *et al.* 2014). Y si a esto se suma, el efecto de prioridad, que también podría dar lugar a la variación en la comunidad de hongos, es decir, las especies de hongos que llegan temprano podrían colonizar muchos más hábitats y recursos, y ser competitivos dominantes sobre los últimos (Kennedy *et al.* 2009). Como se ve, son diversos factores que influyen al momento de la colonización fúngica, y por ende podrían afectar en el rendimiento de la cosecha, expresada en semillas de sachá inchi, quienes de una u otra manera hacen tan diverso y rico las poblaciones fúngicas en campo definitivo.



A su vez, al momento de estudiar las especies micorrízicas inoculadas, una respuesta rápida y concisa podría darnos el consorcio 2 (en dos localidades Huañipo y Dos de Mayo), ya que es el único que tiene más especies encontradas, 7 en total, (*Acaulospora spinosissima*, *Cloroideglomus claroideum*, *Glomus* sp., *Rhizophagus agregatum*, *Rhizophagus fasciculatus*, *Glomus microcarpum* y *Glomus macrocarpum*). Estas especies tienen algo en común, son especies con esporas pequeñas (observaciones personales en el microscopio), lo que concuerda con (Klironomos y Hart, 2002), mencionando que *Glomus* y *Acaulospora* colonizan varios tipos de inóculo, mientras que *Gigaspora* y *Scutellospora* colonizan principalmente con esporas y en un grado limitado con fragmentos de raíces, siendo el grado de colonización muy variado, ya que Glomeraceae colonizan principalmente raíces a partir de fragmento hifal, mientras que Diversisporaceae comienza a partir de esporas, a nivel familiar, esto implica que los hongos de Diversisporaceae son colonizadores más lentos que los miembros de los Glomeraceae (Hart y Reader, 2004). Estos antecedentes sirven para discutir el porqué del alto rendimiento del consorcio 2, ya que, al aumentar el número de especies micorrízicas inoculadas en una planta, esto favorecerá a la colonización de una o dos especies altamente simbiotes con el hospedero (Nakmee *et al.* 2016; Kim *et al.* 2017).

La investigación realizada por (Conversa *et al.* 2019; Luo *et al.* 2019) mostró un aumento del contenido de selenio (Se) en el grano de trigo mediante la inoculación, descubriendo que los HMA modifican la concentración y distribución de nutrientes en el grano de trigo y cebada (Watts-Williams y Gilbert, 2020). Además, recientemente, se ha informado que los tratamientos con HMA nativo producen alteraciones significativas en el contenido de N en los granos de tres cultivos importantes como, maíz, trigo y alfalfa, en condiciones de campo, lo que conlleva a una mejor producción del rendimiento de los cultivos (Turrini *et al.* 2018).

No se observó presencia de nemátodos en el sistema radicular de las plantas de sachá inchi evaluadas en las localidades de la región, esto podría deberse a la inoculación con micorrizas, ya que el tiempo después de la siembra fue suficiente para encontrar poblaciones de nemátodos afectando las raíces. Dando posible mérito a la inoculación micorrízica previa y la protección contra este patógeno (Vos *et al.* 2012).

### 3.6. Parámetros biológicos en plantas de sachá inchi en condiciones de campo

#### 3.6.1. Parcelas de las cuatro localidades de la región de San Martín.

La Tabla 17 muestra el ANVA de los indicadores biológicos: colonización micorrízica radicular (%) y número de esporas de HMA, además, la Figura 16, muestra la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) para estos indicadores de calidad biológica en plantas de sachá inchi, evaluados al término del experimento, en condiciones de campo.

**Tabla 17**

*ANVA de los indicadores biológicos en plantas de sachá inchi, evaluados al término del experimento, en condiciones de campo, en las cuatro localidades de la región de San Martín.*

Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Colonización micorrízica radicular (%)</b>						
	Tratamientos	12 426,30	4	3 106,58	64,52	<0,0001**
	Bloques	3 410,19	2	1 705,09	35,41	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	13 663,07	8	1 707,88	35,47	<0,0001**
	Error	2 166,71	45	48,15		
	Total	31 666,27	59			
<b>Picota / Huañipo</b>	R <sup>2</sup> = 93%	C.V= 9,96%		X̄= 69,68% de colonización		
<b>Número total de esporas de HMA</b>						
	Tratamientos	8 932,07	4	2233,02	34,64	<0,0001**
	Bloques	4 048,03	2	2 024,02	31,4	<0,0001**
	Tratamientos * Bloques	38 840,13	8	4 855,02	75,32	<0,0001**
	Error	2 900,75	45	64,46		
	Total	54 720,98	59			
	R <sup>2</sup> = 95%	C.V= 10,88%		X̄= 74 esporas		
**= Altamente Significativo						
Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
<b>Colonización micorrízica radicular (%)</b>						
	Tratamientos	1 596,27	4	399,07	14,37	<0,0001**
	Bloques	586,13	2	293,07	10,55	0,0002**
	Tratamientos * Bloques	432,53	8	54,07	11,95	0,0061**
	Error	1 250	45	27,78		
	Total	3 864,93	59			
<b>Lamas / Huañipo</b>	R <sup>2</sup> = 88%	C.V= 6,58%		X̄= 80,13% de colonización		

**Número total de esporas de HMA**

Tratamientos	94 984	4	23 746	56,89	<0,0001**
Bloques	17 187,73	2	8 593,87	20,59	<0,0001**
Tratamientos * Bloques	144 225,6	8	18 028,2	43,19	<0,0001**
Error	18 784	45	417,42		
Total	275	59			
	181,33				
R <sup>2</sup> = 93%		C.V= 5,8%		X̄= 129 esporas	

\*\*= Altamente Significativo

Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
-----------------------	------	----	----	----	---	---------

**Colonización micorrízica radicular (%)**

Tratamientos	5 935,82	4	1 483,95	31,82	<0,0001**
Bloques	19,17	2	9,58	10,21	<0,0001**
Tratamientos * Bloques	1 077,25	8	134,66	4,89	<0,0001**
Error	2 098,50	45	46,63		
Total	9 130,73	59			

Bellavista /  
Dos de  
MayoR<sup>2</sup>= 87%

C.V= 9,31%

X̄= 66,21% de  
colonización**Número total de esporas de HMA**

Tratamientos	25 092,27	4	6 273,07	55,79	<0,0001**
Bloques	6 580,8	2	3 290,4	29,26	<0,0001**
Tratamientos * Bloques	34 312,53	8	4 289,07	38,14	<0,0001**
Error	5 060	45	112,44		
Total	71 045,6	59			
R <sup>2</sup> = 93%		C.V= 8,74%		X̄= 41 esporas	

\*\*= Altamente Significativo

Provincia / Localidad	F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
-----------------------	------	----	----	----	---	---------

**Colonización micorrízica radicular (%)**

Tratamientos	2 063,24	4	515,81	14,37	<0,0001**
Bloques	1 112,35	2	556,17	15,5	<0,0001**
Tratamientos * Bloques	753,92	8	94,24	2,63	<0,0001**
Error	1 615	45	35,89		
Total	5 544,51	59			

R<sup>2</sup>= 81%

C.V= 8,27%

X̄= 72,44% de  
colonizaciónEl Dorado  
/ Santa  
Rosa**Número total de esporas de HMA**

Tratamientos	64 118,93	4	16 029,73	35,92	<0,0001**
Bloques	53 443,73	2	26 721,87	59,87	<0,0001**

Tratamientos * Bloques	58,284,27	8	7 285,53	16,32	<0,0001**
Error	20 084	45	446,31		
Total	195	59			
	930,93				
R <sup>2</sup> = 90%		C.V= 6,12%		X̄= 81 esporas	

\*\*= Altamente Significativo

El análisis de varianza (Tabla 17), indica que en la localidad de Huañipo – provincia de Picota, que si existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los dos indicadores de riqueza biológica en plantas de sachá inchi (colonización micorrízica radicular y número de esporas de HMA), mostrando medias de 69,68% de colonización y 74 esporas de HMA, coeficientes de variabilidad (C.V) de 9,96% y 10,88% y un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 93% y 95%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey (p<0,05) (Figura 16), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento: colonización micorrízica radicular y número de esporas de HMA, evaluado al término del experimento, siendo, el consorcio 4, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en los dos indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas. Lo que es muy probable que las esporas de este consorcio, se están manifestando como muy favorables para las plantas de sachá inchi en esta localidad. Sin embargo, se observa algo extraño en el consorcio 3, porque tuvo un importante número de esporas, pero poca colonización radicular.

El análisis de varianza (Tabla 17), indica la localidad de Huañipo – provincia de Lamas, que existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los dos indicadores de riqueza biológica en plantas de sachá inchi (colonización micorrízica radicular y número de esporas de HMA), mostrando medias de 80,13% de colonización y 129 esporas de HMA, coeficientes de variabilidad (C.V) de 6,58% y 5,8% y un coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) de 88% y 93%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la

variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 16), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento: colonización micorrícica radicular y número de esporas de HMA, evaluado al término del experimento, siendo, el consorcio 1, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en los dos indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas. Lo que es muy probable que las esporas de este consorcio, se están manifestando como muy favorables para las plantas de sachá inchi en esta localidad. Sin embargo, en esta localidad ocurrió algo muy interesante, ya que, las plantas del tratamiento control obtuvieron alto número de esporas, probablemente sea por las esporas que estuvieron esporulando naturalmente en los suelos de la parcela instalada y que están adyacentes al sistema radicular de las plantas de sachá inchi, pero al comparar los resultados con la colonización, las plantas del control obtuvieron el menor índice de colonización, debido a la poca capacidad simbiótica de las esporas presentes en este suelo.

El análisis de varianza (Tabla 17), indica en la localidad de Dos de Mayo – Provincia de Bellavista, que existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los dos indicadores de riqueza biológica en plantas de sachá inchi (colonización micorrícica radicular y número de esporas de HMA), mostrando medias de 66,21% de colonización y 41 esporas, coeficientes de variabilidad (C.V) de 9,31% y 8,74% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 87% y 93%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 16), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento: colonización micorrícica radicular y número de esporas de HMA, evaluado al término del experimento, siendo, el consorcio 3, el que tuvo diferencias estadísticas significativas en los dos indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin

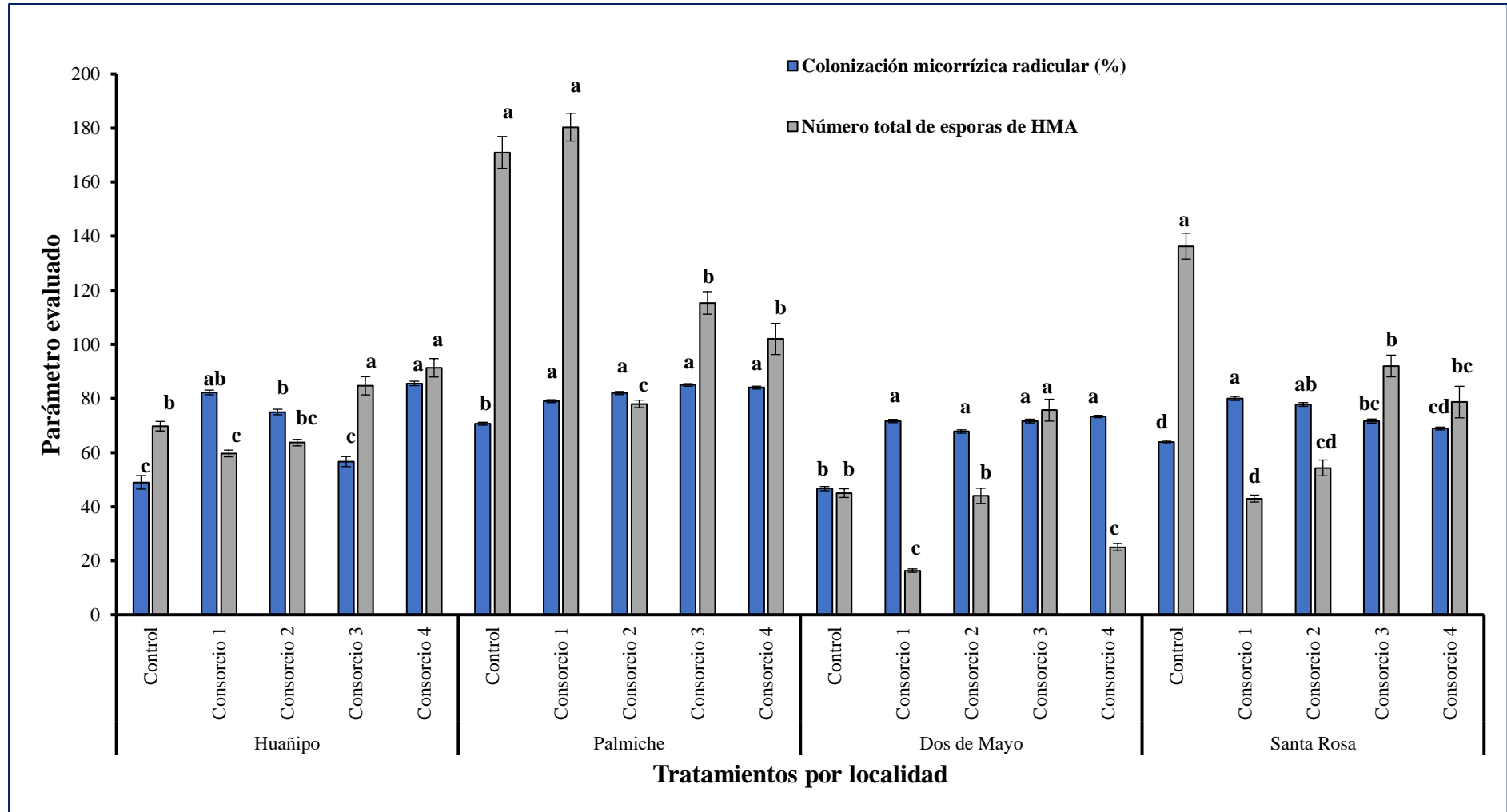
micorrizas. Lo que es muy probable que las esporas de este consorcio, se están manifestando como altamente simbiotes para las plantas de sachá inchi en esta localidad. Además de que, los resultados de ambos indicadores son casi homogéneos (siendo el único tratamiento con esta característica)

El análisis de varianza (Tabla 17), indica que la localidad de Santa Rosa – provincia El Dorado, que existen diferencias altamente significativas (\*\*), en los dos indicadores de riqueza biológica en plantas de sachá inchi (colonización micorrícica radicular y número de esporas de HMA), mostrando medias de 72,44% de colonización y 81 esporas, coeficientes de variabilidad (C.V) de 8,27% y 6,12% y un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 81% y 90%, en ese orden respectivamente, estos resultados indican confiabilidad en los datos obtenidos, además de la afinidad que tiene la variable respuesta con los tratamientos estudiados y en este caso, la utilización de bloques tuvo influencia, y todos estos resultados están dentro del rango de dispersión aceptable, para trabajos de investigación en campo (Calzada, 1982).

En promedio, el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) (Figura 16), muestra el comportamiento de los indicadores de rendimiento: colonización micorrícica radicular y número de esporas de HMA, evaluado al término del experimento, siendo los consorcios 1 y 2, los que tuvieron diferencias estadísticas significativas en los dos indicadores evaluados, comparado con los demás consorcios y el control sin micorrizas, ya que en estos dos consorcios se encontró que hay correlación positiva y negativa. Lo que es muy probable que las esporas de este consorcio, se están manifestando como muy favorables para las plantas de sachá inchi en esta localidad. En las plantas de esta localidad nuevamente se repiten los resultados, en donde las plantas del control obtuvieron mayor número de esporas, pero, tuvieron menor porcentaje de colonización. Esta fue la única localidad en donde los resultados no tienen una diferencia significativa entre los consorcios inoculados, debido a posibles diversos factores ambientales propios del lugar de instalación de la parcela demostrativa.

La Figura 16 muestra el análisis de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ), comparando las cuatro localidades estudiadas, en donde da detalle de los diferentes resultados obtenidos, de los cuales los consorcios micorrízicos 1 (Palmiche – Lamas); 3 (Dos de Mayo – Bellavista) y 4 (Huañipo – Picota), fueron los mejores inóculos

utilizados en plantas de sachá inchi, en condiciones de campo definitivo, ya que tuvieron los rendimientos más altos en cuanto a la producción de sachá inchi. En cuanto a la localidad Santa Rosa -El Dorado, se tuvieron resultados distintos a lo esperado. Esto da entender que, estos consorcios se comportaron distintamente al momento de realizar simbiosis micorrícica con las raíces del sachá inchi, y que muy probablemente sean dependientes de las condiciones del suelo, clima o precipitación del lugar de instalación de la parcela demostrativa, para que hayan tenido este comportamiento singular.



**Figura 16:** Parametros para la riqueza biológica (Colonización micorrizicas radicular %, Número total de esporas de HMA) en plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) evaluados al término del experimento en las cuatro localidades de la región San Martín, en condiciones de campo, determinaron con HSD de Tukey ( $p < 0,05$ ).



### **3.6.2. Discusión general de los parámetros biológicos en plantas de sachá inchi en condiciones de campo, de las cuatro localidades de la región de San Martín.**

Las plantas de sachá inchi inoculadas con las especies micorrízicas en las localidades estudiadas, tuvieron, en general, resultados muy diversos, dispersos, heterogéneos, ya que, al igual que en los parámetros de producción no hubo un denominador en común que me indique que consorcio micorrízico fue el mejor. Por ejemplo, en Huañipo, el consorcio 4, al analizar la relación número de esporas/colonización micorrízica, esto fue homogéneo en esta localidad, ya que estos dos resultados estuvieron casi semejantes, sin embargo, se observa que el consorcio 3 tuvo casi igual número de esporas que el consorcio 4 pero con el menor porcentaje de colonización (en comparación con los demás consorcios), y el control quien obtuvo menor resultado en ambos parámetros en esta localidad. Por su parte, la localidad de Palmiche, el mejor consorcio fue el 1, al contrario que en la anterior localidad, ya que, la relación número de esporas/colonización radicular fue casi semejante en el control como en las plantas del consorcio 1, esto podría deberse a las poblaciones micorrízicas naturales del medio en donde se están desarrollando las plantas de sachá inchi (las que están interfiriendo para un mejor resultado), sobre esto, (Błaszowski *et al.* 2002), mencionan que muchas especies de HMA esporulan estacionalmente o rara vez en el campo y, por lo tanto, no se detectan durante el muestreo del suelo. En cambio, en la localidad Dos de Mayo el mejor consorcio fue el 3, quien a su vez fue semejante la relación entre los dos parámetros evaluados, pero hay un dato curioso que el consorcio 1 obtuvo alto porcentaje de colonización teniendo el menor número de esporas, en comparación con el control quien obtuvo resultados semejantes, aquí podría aplicarse lo que mencionan (Klironomos y Hart, 2002), que *Glomus* y *Acaulospora* colonizan varios tipos de inóculo, mientras que *Gigaspora* y *Scutellospora* colonizan principalmente con esporas y en un grado limitado con fragmentos de raíces, esto implica que los hongos de Diversisporaceae son colonizadores más lentos que los miembros de los Glomeraceae (Hart y Reader, 2004), o también al aumentar el número de especies micorrízicas inoculadas en una planta, favorece a la colonización de una o dos especies altamente simbiotas con el hospedero (Nakmee *et al.* 2016; Kim *et al.* 2017). Y en la última localidad, Santa Rosa, el mejor consorcio fue el 1 quien obtuvo mejor porcentaje de colonización con un bajo número de esporas, comparando con el

control quien obtuvo un alto número de esporas, pero con poca colonización, siendo muy variado los resultados en esta localidad. Estos resultados muestran la gran capacidad de los HMA de realizar simbiosis con las raíces del sachá inchi, independientemente de las especies inoculadas, sin embargo, los beneficios conferidos por la simbiosis a la planta huésped varían dependiendo de la identidad de ambos, la planta huésped (especie y variedad) y las especies de HMA (Sawers *et al.* 2017; Watts-Williams *et al.* 2019). Además, la simbiosis micorrícica no siempre es ventajosa, ya que los efectos pueden ser positivos, negativos o neutrales para la planta huésped (Grace *et al.* 2009; Watts-Williams *et al.* 2019).

En plantas como la sandía (*Citrullus lunatus* Thunb.), se encontró que la colonización micorrícica mejoró no solo el rendimiento de la planta y la eficiencia en el uso del agua, sino también la calidad de los frutos (Kaya *et al.* 2003). Se obtuvieron resultados similares en plantas de tomate micorrizadas con un aumento en las concentraciones de azúcares, ácidos orgánicos y vitamina C en frutas (Bona *et al.* 2016). Y en plántulas de melocotón con HMA mejoró el rendimiento en condiciones de macetas y también elevó significativamente las concentraciones de K, Mg, Fe y Zn en hojas y raíces (Wu *et al.* 2011). Por su parte, (Muleta *et al.* 2007), informaron de una gran riqueza de especies de HMA, en un bosque nativo con presencia de café, con especies de cinco géneros de HMA, siendo *Glomus* el género dominante, seguido de *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Scutellospora*. Existen tres formas diferentes de colonización (Klironomos y Hart, 2002). (Smith y Read, 2008), mencionan que la colonización puede iniciarse a partir de esporas, micelio intrarrádico (MIR) de las raíces de micorriza y micelio extrarradical (MER). Por otro lado, hay estudios que mencionan que, la diversidad de hongos en las raíces de una planta puede facilitar la persistencia de simbiontes de baja calidad, lo que resulta en un beneficio de crecimiento muy limitado para su huésped (Hart *et al.* 2012). Por lo tanto, la inoculación de plántulas de especies leñosas en condiciones de vivero es una estrategia valiosa para producir plántulas con buen vigor, lo que se traduciría en una alta supervivencia y crecimiento en el campo (Zangaro *et al.* 2003; Vandresen *et al.* 2007; Tahat *et al.* 2008).

Trabajos de investigación realizados en la región, demostraron un alto potencial colonizador de HMA, con porcentajes de colonización radicular entre el 26 y 30% en suelos de las provincias de Lamas, Moyobamba y El Dorado (Del Águila, 2016).

Además, (Medina, 2017) también reporta a HMA obtenidos de suelos de la provincia de Lamas como altamente colonizadoras en plantas de café (26,4% de colonización). (Coral, 2015), determinó la diversidad de HMA nativos y su potencial micorrízico en plantas de café, siendo la provincia de Lamas, la que presentó los más altos valores de densidad de esporas (2055 esporas/10 gramos de suelo), seguido de la provincia de Moyobamba y el Dorado. Por su parte, (Rojas, 2010) evaluó la diversidad de HMA asociado a plantas de cacao, encontrando que la mayor densidad de esporas se dio en un sistema bajo bosque (7164,24 esporas) comparando con un sistema tradicional (5818,74 esporas). En cuanto al número de esporas, (Del Águila, 2016), estudio HMA sobre la nutrición de plantas de café, obteniendo el mayor número de esporas en la provincia de Lamas (700 a 1500 esporas por 10 g de suelo), así mismo, (Medina, 2017), 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). Reportes que en su mayoría se establecieron en el cultivo de café, y en condiciones de vivero, ya que, generalmente los trabajos de investigación con HMA en la región se enfocaron en estas condiciones, siendo este el primer trabajo realizado en condiciones de campo, y obteniendo los resultados diversos que se expusieron anteriormente. No se identificó las especies micorrízicas que están interactuando con las plantas de sachá inchi, ya que los resultados iban a ser muy diversos (en comparación con las especies inoculadas en vivero), todo esto por la presencia natural de especies micorrízicas en las parcelas demostrativas instaladas en las localidades de la región.

## CONCLUSIONES

1. Se concluyó que, la inoculación inicial y aclimatación de las plántulas de sachá inchi en condiciones de vivero, es muy importante por la simbiosis que realizan entre las especies micorrízicas inoculadas y el sistema radicular de las plantas de sachá inchi, ya que, se encontraron diferencias significativas en las condiciones de campo definitivo.
2. Según los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación se concluyó que el Consorcio 2, localidad Dos de Mayo, provincia de Bellavista, que mostró mejor respuesta por su capacidad de rendimiento de la producción de sachá inchi en campo.
3. Para el porcentaje de colonización micorrízicas, todos los consorcios evaluados tuvieron un porcentaje muy diversos, teniendo como mejor tratamiento el Consorcio 1, localidad de Palmiche, Provincia de Lamas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda, el uso de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos, como organismo benéfico en el crecimiento de plantas, que además actúan como bioprotector contra plagas y enfermedades del sistema radicular, contribuyendo de esa manera con el cuidado del medio ambiente.
2. A partir de los resultados obtenidos y observados durante los 315 días después de la siembra (d.d.s), se recomienda la multiplicación del consorcio 2, para sembrar más áreas deseadas y así obtener mejor rendimiento de la producción, en el cultivo de sachá inchi en campo definitivo.
3. Se recomienda realizar la inoculación con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos en plantones de sachá inchi, y entregar a los agricultores que desean sembrar en sus campos definitivos, pero ellos deben realizar un adecuado manejo agronómico para que tenga resultado excelentes en su producción y sostenibilidad de su cultivo de sachá inchi.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, L. y Robson, A. (1991). *Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas*. *Agri, Ecosyst Environment* 36, 121-150.
- Aceituno, P. P. (2005). *El cultivo de sacha inchi*. *Boletín Técnico*. Agencia adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales-ADRA. Misión Nor Oriental. Editorial trilla. Moyobamba. Rev. Nov14/2005, [www.draceutuno.com](http://www.draceutuno.com).
- Ahanger, M. A., Tyagi, S. R., Wani, M. R., and Ahmad, P. (2014). "Drought tolerance: role of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients," in *Physiological mechanisms and adaptation strategies in plants under changing environment, vol. 1*. Eds. P. Ahmad and Wani MR (New York, NY: Springer), 25–55. doi: 10.1007/978-1-4614-8591-9\_2.
- Ahanger, M. A., and Agarwal, R. M. (2017). *Potassium up-regulates antioxidant metabolism and alleviates growth inhibition under water and osmotic stress in wheat (Triticum aestivum L.)*. *Protoplasma* 254 (4), 1471–1486. doi: 10.1007/s00709-016-1037-0.
- Ahanger MA, Tittal M, Mir RA, Agarwal RM. 2017. *Alleviation of water and osmotic stress-induced changes in nitrogen metabolizing enzymes in Triticum aestivum L. cultivars by potassium*. *Protoplasma*. 254(5):1953–1963.
- Allen, M. F. (2011). *Linking water and nutrients through the vadose zone: A fungal interface between the soil and plant systems*. *J. Arid. Land*, 3, 155–163.
- Anschütz, U., Becker, D., and Shabala, S. (2014). *Going beyond nutrition: regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment*. *J. Plant Physiol.* 171, 670–687. doi: 10.1016/j.jplph. 2014.01.009.
- Augé, R. (2001). *Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis*. *Mycorrhiza*. 11:3–42.
- Balliu, A., Sallaku, G., and Rewald, B. (2015). *AMF Inoculation enhances growth and improves the nutrient uptake rates of transplanted, salt-stressed tomato seedlings*. *Sustainability* 7, 15967–15981. doi: 10.3390/su71215799.

- Battini, F., Grønlund, M., Agnolucci, M., Giovannetti, M., and Jakobsen, I. (2017). *Facilitation of phosphorus uptake in maize plants by mycorrhizosphere bacteria*. *Sci. Rep.* 7, 4686. doi: 10.1038/s41598-017-04959-0.
- Barrow, C. J. (2012). *Biochar potential for countering land degradation and for improving agriculture*. *App. Geogr.* 34, 21–28. doi:10.1016/j.apgeog.2011.09.008
- Bárzana, G., Aroca, R., Paz, J. A., Chaumont, F., Martinez-Ballesta, M. C.
- Bennett, A. E., Classen, A. (2020). *Climate change influences mycorrhizal fungal–plant interactions, but conclusions are limited by geographical study bias*. *Ecology*, 101.
- Benito, B., and Gonzalez-Guerrero, M. (2014). *Unravelling potassium nutrition in ectomycorrhizal associations*. *New Phytol.* 201, 707–709. doi: 10.1111/nph.12659.
- Berta, G., Trotta, A., Fusconi, A., Hooker, J. E., Munro, M., Atkinson, D., Giovannetti, M., Morini, S., Fortuna, P., Tisserant, B., *et al.* (1995). *Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in Prunus cerasifera*. *Tree Physiol.* 15, 281–293.
- Boddington, C. L. & Dodd, J. C. (1999). *The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi*. I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant Soil.* 218,137–144
- Borde, M., Dudhane, M., and Jite, P. K. (2010). *AM fungi influences the photosynthetic activity, growth and antioxidant enzymes in Allium sativum L. under salinity condition*. *Not. Sci. Biol.* 2, 64–71. doi: 10.15835/nsb245434.
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., Lingua, G., D'Agostino, G., Gamalero, E., Berta, G. (2016). *Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads improve yield, quality and nutritional value of tomato: A field study*. *Mycorrhiza*, 27, 1–11.
- Blaszkowski, J., Glomeromycota, W., Szafer. (2012). *Institute of Botany, Polish Academy of Sciences*. Kraków, 303 p.

- Broadley, M. R., and White, P. J. (2005). *Plant Nutritional Genomics*. Oxford: Blackwell Publishing; CRC Press.
- Brundrett, M.; Bougher, N.; Dell, B.; Grove, T. y Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. 347 pp.
- Brundrett, M. (1991). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Monografía 32. Canberra, Australia.
- Bucher, M. (2006). *Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces*. *New Phytologist* 173: 11-26.
- Calzada, B. J. (1982). *Métodos estadísticos para la investigación*. Quinta edición. Lima. Perú.
- Cameron, D. D., Neal, A. L., Van Wees, S. A., Ton, J. (2013). *Mycorrhiza-induced resistance: More than the sum of its parts?* *Trends Plant. Sci.* 2013, 18, 539–545.
- Cekic, F. O., Unyayar, S., and Ortas, I. (2012). *Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on biochemical parameters in capsicum annum grown under long term salt stress*. *Turk. J. Bot.* 36, 63–72. doi: 10.3906/bot-1008-32.
- Conversa, G., Lazzizzera, C., Chiaravalle, A. E., Miedico, O., Bonasia, A., La Rotonda, P., Elia, A. (2019). *Selenium fern application and arbuscular mycorrhizal fungi soil inoculation enhance Se content and antioxidant properties of green asparagus (Asparagus ocinalis L.) spears*. *Sci. Hortic.* 252, 176–191.
- Coral, L. (2015). *"Estudio de la Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares Nativos y su Potencial Micorrízico en el Cultivo de Café (Coffea Arabica L.), en diferentes condiciones agroecológicas de la región san martín"*. Universidad Nacional de San Martín (UNSM). Tarapoto, Perú. 67 pp.
- Cottenie, K. (2005). *Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics*. *Ecol. Lett.* 8, 1175–1182. doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x.



- Cox, F., Barsoum, N., Lilleskov, E. A., and Bidartondo, M. I. (2010). *Nitrogen availability is a primary determinant of conifer mycorrhizas across complex environmental gradients*. *Ecol. Lett.* 13, 1103–1113. doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01494.x.
- De Andrade, S. A. L., Domingues, A. P., and Mazzafera, P. (2015). *Photosynthesis is induced in rice plants that associate with arbuscular mycorrhizal fungi and are grown under arsenate and arsenite stress*. *Chemosphere* 134, 141–149. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.04.023.
- Del Aguila, K.M. (2016). *Efecto de Hongos Micorrízicos Arbusculares nativos sobre el nematodo agallador de raíces (Meloidogyne spp.) en plantones de café (Coffea arabica) variedad caturra en la Región San Martín*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto- Perú.
- Dighton, J., y Skeffington, R.A. (1987). *Effects of artificial acid precipitation on the mycorrhizas of scots pine seedlings*. <https://doi.org/10.1111/j.1469-137.1987.tb04893.x>.
- Elhindi, K. M., El-Din, S. A., and Elgorban, A. M. (2017). *The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (Ocimum basilicum L.)*. *Saudi J. Biol. Sci.* 24, 170–179. doi: 10.1016/j.sjbs.2016.02.010.
- Espinoza, R. (2018). *Efecto bioprotector de micorrizas arbusculares como alternativa agroecológica para controlar nematodos (Meloidogyne spp) en Coffea arabica a diferentes condiciones edafoclimáticas en la región San Martín*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.
- Finzi AC (2009). *Decades of atmospheric deposition have not resulted in widespread phosphorus limitation or saturation of tree demand for nitrogen in southern New England*. *Biogeochemistry* 92: 217–229.
- Franken, P.; Donge, K.; Grunwald, U.; Kost, G.; Karl-Heinz, R.; Tamasloukht, M.; Waschke, H. y Zeuske, A. (2007). *Gene expression analysis of arbuscule development and functioning*. *Phytochemistry*, 68(1): 68-74.

- Franco, N. (2008). *Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas*. Universidad de Sevilla. Disponible en Página Web: [www.bioscripts.net](http://www.bioscripts.net).
- Galluser, S. (2005). *Identificación de Muestras Botánicas del Género Plukenetia (Euphorbiaceae)*. Tarapoto: Informe Final de Consultoría. AMC N° 012-2004/INIAE.E.POV/CEP. Sub-Proyecto. Identificación de Material Promisorio, Recuperación y Recolección de Germoplasma de *Plukenetia volubilis* L. Editorial Cordillera. 2da Edición. Perú.
- Gerdemann, J., Nicolson, T. (1963). *Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting*, Transactions of the British mycological Society, vol. 46, pp. 235 - 244.
- Gillespie, L. (1993). *A synopsis of neotropical Plukenetia (Euphorbiaceae) including two new species*. Systematic Botany 18 (4): 575 – 592.
- Giovannetti, M.; Gianinazzi, V. (1994) *Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi*. Review Mycology Research. 98 (7): 705-715.
- Gogoi, P. (2011). *Differential effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Piper longum L. (Piperaceae)*. Indian J. Sci. Technol. 4, 119–125.
- Govindarajulu, M., Pfeffer, P. E., Jin, H. R., Abubaker, J., Douds, D. D., Allen, J. W., et al. (2005). *Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis*. Nature 435, 819–823. doi: 10.1038/nature03610.
- Grace, C.; Stribley, D. (1991). *A safer procedure for routine staining of vesiculararbuscular*. Mycorrhizal fungi. Mycological Research 95: 1160-1162.
- Grace, E. J., Cotsaftis, O., Tester, M., Smith, F. A., & Smith, S. E. (2009). *Arbuscular mycorrhizal inhibition of growth in barley cannot be attributed to extent of colonization, fungal phosphorus uptake or effects on expression of plant phosphate transporter genes*. New Phytologist, 181, 938–949. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02720.x>.
- Gutiérrez, L., F., Rosada, L., M., Jiménez, A. (2011). *Chemical composition of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds and characteristics of their lipid fraction*, Grasas y Aceites; 62(1):76-83.

- Hameed, A., Dilfuza, E., Abd-Allah, E. F., Hashem, A., Kumar, A., and Ahmad, P. (2014). "Salinity stress and arbuscular mycorrhizal symbiosis in plants," in *Use of microbes for the alleviation of soil stresses*, vol. 1. Ed. M. Miransari (NY: Springer Science+Business Media), 139–159. doi: 10.1007/978-1-4614-9466-9\_7.
- Hart, M., M., Antunes, P., M., Chaudhary, V., B., & Abbott, L., K. (2018). *Fungal inoculants in the field: Is the reward greater than the risk. Functional Ecology*, 32, 126–135. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12976>.
- Hart, M., M. y Reader, R., J. (2004). *Taxonomic basic for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist*, 153 (2): 335-334.
- Hasanuzzaman, M., Gill, S., S., and Fujita, M. (2013). "Physiological role of nitric oxide in plants grown under adverse environmental conditions," in *Plant acclimation to environmental stress*. Eds. N. Tuteja and S. S. Gill (NY: Springer Science+Business Media), 269–322. doi: 10.1007/978-1-4614-5001-6\_11.
- Hashem, A., Alqarawi, A., A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A., B., F., Aldehaish, H., A., Egamberdieva, D., Allah, E., A. (2018). *Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in Cucumis sativus L. Saudi J. Biol. Sci.* 25, 1102–1114.
- Hernández, C. L., Guadarrama, C. P., Sánchez, G., I. y Ramos, Z., J. (2008). *Micorriza Arbuscular, colonización intraradical y extracción de esporas del suelo*. En: Álvarez S. J. y Monroy A. A. (compiladores). *Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración*. UNAM. Facultad de Ciencias. P 232.
- Herrera, S. M. (2019). *Diversidad endomicorrícica en plantas de café (Coffea arabica L.) infestadas con roya (Hemileia vastatrix)*. Universidad Autónoma Chapingo, Estudiante del Doctorado en Ciencias en Horticultura. Texcoco, México. E-mail: sonia.herrera.monroy3@Gmail.com.
- Helgason, T. and Fitter, A., H. (2009). "Natural selection and the evolutionary ecology of the arbuscular mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota)," *Journal of Experimental Botany*, vol. 60, no. 9, pp. 2465–2480.

- Hoeksema, J. D., Chaudhary, V., B., Gehring, C., A., Johnson, N., C., Karst, J., Koide, R. T., Pringle, A., Zabinski, C., Bever, J. D., Moore, J. C., *et al.* (2010). *A meta-analysis of context-dependency in plant response to inoculation with mycorrhizal fungi*. *Ecol. Lett.* 13, 394–407.
- Hubbell, S. P. (2001). *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton: Princeton University Press.
- Ibijbijen, J., Urquiaga, S., Ismaili, M., Alves, B., J., R., Boddey, R., M., (1996). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition and nitrogen fixation of three varieties of common beans (Phaseolus vulgaris)*. *New Phytol.* 1996, 134, 353–360.
- Jansa, J., Forczek, S., T., Rozmoš, M., Püschel, D., Bukovská, P., Hršelová, H. (2019). *Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: Network of players and interactions*. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 6, 10.
- Jansa, J., Smith, F., A.; Smith, S., E. (2008). *Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi*. *New Phytol.* 177, 779–789.
- Jasper, A., Davy, J. (1993). *Root characteristics of native plant species in relation to the benefit of mycorrhizal colonization for phosphorus uptake*. *Plant Soil* 155/156: 281- 284.
- Jin, H., Pfeffer, P., E., Douds, D., D., Piotrowski, E., Lammers, P., J., and ShacharHill, Y. (2005). *Te uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis*. *New Phytol.* 168, 687–696. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01536. x.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., Ta,s, I. (2003). *Mycorrhizal colonisation improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (Citrullus lanatus Thunb.) grown under well-watered and water-stressed conditions*. *Plant. Soil*, 253, 287–292.
- Kennedy, P. G., Peay, K. G., and Bruns, T. D. (2009). *Root tip competition among ectomycorrhizal fungi: are priority effects a rule or an exception*. *Ecology* 90, 2098–2107. doi: 10.1890/08-1291.1.

- Kivlin, S., N., Hawkes, C., V., Treseder, K., K. (2011). *Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi*. *Soil Biol. Biochem.* 43, 2294–2303.
- Kivlin, S., N., Winston, G., C., Goulden, M., L., and Treseder, K., K. (2014). *Environmental filtering affects soil fungal community composition more than dispersal limitation at regional scales*. *Fungal Ecol.* 12, 14–25. doi: 10.1016/j.funeco.2014.04.004.
- Klironomos, J.N., Hart, M.M. (2002). *Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum*. *Mycorrhiza* 12, 181–184. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0169-6>.
- Kim, S.J., Eo, J.-K., Lee, E.-H., Park, H., Eom, A.-H. (2017). *Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Soil Conditions on Crop Plant Growth*. *Mycobiology* 2017, 45, 20–24.
- Lambers, H., Raven, J., A., Shaver, G., R., Smith, S., E. (2008). *Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age*. *Trends Ecol. Evol.* 23:95–103.
- Lenoir, I., Fontaine, J., Sahraoui, A., L.-H. (2016). *Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review*. *Phytochemistry*, 123, 4–15.
- Li, H., Luo, N., Zhang, L., J., Zhao, H., M., Li, Y., W., Cai, Q., Y., et al. (2016). *Do arbuscular mycorrhizal fungi affect cadmium uptake kinetics, subcellular distribution and chemical forms in rice?* *Sci. Total, Environ.* 571, 1183–1190. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.124.
- Li, S., Shakoor, A., Wubet, T., Zhang, N., Liang, Y., and Ma, K. (2018). *Finescale variations of fungal community in a heterogeneous grassland in Inner Mongolia: effects of the plant community and edaphic parameters*. *Soil Biol. Biochem.* 122, 104–110. doi: 10.1016/j.soilbio.2018.04.007.
- Li, Z., Wu, N., Meng, S., Wu, F., Liu, T. (2020). *Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) enhance the tolerance of *Euonymus maackii* Rupr. at a moderate level of salinity*. *PLoS ONE* 15, e0231497.
- Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., Wang, Y. (2018). *Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth,*

- cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil.* Chemosphere, 194, 495–503.
- Luo, W., Li, J., Ma, X., Niu, H., Hou, S., Wu, F. (2019). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on uptake of selenate, selenite, and selenomethionine by roots of winter wheat.* Plant. Soil, 438, 71–83.
- Manco, C. (2007). *“Estado situacional del cultivo de sacha inchi en condiciones de conservación “ex situ”.* San Martin: Estación experimental el porvenir. Editorial Cordillera. 2daEdición. Perú. Pág. 7.
- McGonigle, T., P., & Fitter, A., H. (1990). *Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations.* Mycological Research 94(1): 120-122.
- Medina, V., E. (2017). *Biogeografía de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de café (Coffea arabica L.) en la región san martín,* Perú. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
- Mena-Violante, H., G., Ocampo-Jimenez, O., Dendooven, L., Martinez-Soto, G., Gonzalez-Castafeda, J., Davies, F., T., *et al.* (2006). *Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho Capsicum annum L. cv San Luis plants exposed to drought.* Mycorrhiza 16, 261–267. doi: 10.1007/ s00572-006-0043-z.
- Mozombite, H. (2017). *Efecto De Consorcios de Hongos Micorrízicos Arbusculares Nativos, sobre la dinámica poblacional del nemátodo del nódulo (Meloidogyne Incognita) en plántones de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.)* (Tesis de pre grado). Universidad Nacional de San Martin, Tarapoto. Perú.
- Morton, J.; Benny, G. (1990). *Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae,* Mycotaxon, vol. 37, pp. 471–491.
- Moradtalab, N., Roghieh, H., Nasser, A., Tobias, E., H., and Günter, N. (2019). *Silicon and the association with an arbuscular-mycorrhizal fungus (Rhizophagus clarus) mitigate the adverse effects of drought stress on strawberry.* Agronomy 9, 41. doi: 10.3390/agronomy9010041.

- Molina, L.; Mahecha, L.; Medina, M. (2005). *Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas Silvopastoriles*.
- Moghadam, H., R., T. (2016). *Application of super absorbent polymer and ascorbic acid to mitigate deleterious effects of cadmium in wheat*. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 6 (1), 9–18. doi: 10.1590/1983-40632016v4638946.
- Muleta D., Assefa F., Nemomissa S. & Granhall U. (2007). *Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia*. *Forest Ecology and Management* 241, 145–154.
- Munns, R.; Tester, M. (2008). *Mechanisms of Salinity Tolerance*. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 59, 651–681.
- Nakmee, P. S., Techapinyawat, S., y Ngamprasit, S. (2016). *Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of sorghum bicolor linn*. *Agriculture and Natural Resources*, 50(3), 173–178.
- Nguvo, K.J.; Gao, X. (2019). *Weapons hidden underneath: Bio-Control agents and their potentials to activate plant induced systemic resistance in controlling crop Fusarium diseases*. *J. Plant. Dis. Prot.*, 126, 177–190.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mader, P., Boller, T. & Wiemken, A. (2003). *Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe*. *Applied Environmental Microbiology*. 69:2816– 2824.
- Orbe, G. (2019). *Efecto bioprotector de diferentes especies de hongos micorrizicos Arbusculares sobre nemátodos del nódulo (Meloidogyne incógnita) en plántulas de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)* (Tesis de pre grado). Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Perú.
- 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. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias. Bogotá.

- Ortas, I. (2012). *The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions*. *Field Crops Res.* 125, 35–48. doi: 10.1016/j.fcr.2011.08.005.
- Ortas, I. (2010). *Field trials on mycorrhizal inoculation in the eastern mediterranean horticultural region*. In: *Mycorrhiza works* (Feldmann F., Kapulnik Y., Baar J., eds). Hannover, Germany. pp 56-77.
- Orbe, P. (2019). *Efecto bioprotector de diferentes especies de hongos micorrizicos arbusculares sobre nemátodos del nódulo Meloidogyne incognita en plántulas de sacha inchi Plukenetia volubilis L.* Universidad Nacional De La Amazonía Peruana. Iquitos.
- Ouziad, F., Hildebrandt, U., Schmelzer, E., and Bothe, H. (2005). *Differential gene expressions in arbuscular mycorrhizal-colonized tomato grown under heavy metal stress*. *J. Plant Physiol.* 162, 634–649. doi: 10.1016/j.jplph.2004.09.014.
- Parniske, M. (2008). *Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses*. *Nature Review Microbiology.* 6: 763-775.
- Peterson, R., L., and Bradbury, S., M. (1970). “*Use of plant mutants, intraspecific variants and non-hosts in studying mycorrhiza formation and function,*” in *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*, A. K. Varma and B. Hock, Eds., Springer, Berlin, Germany.
- Peay, K., G., Schubert, M., G., Nguyen, N., H., and Bruns, T., D. (2012). *Measuring ectomycorrhizal fungal dispersal: macroecological patterns driven by microscopic propagules*. *Mol. Ecol.* 21, 4122–4136. doi: 10.1111/j.1365-294X.2012.05666.x.
- Phillips, J.; Hayman, D. (1970). *Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection*. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Prietzl, J., Klysubun, W., and Werner, F. (2016). *Speciation of phosphorus in temperate zone forest soils as assessed by combined wet-chemical fractionation and XANES spectroscopy*. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 179, 168–185. doi: 10.1002/ jpln.201500472.



- Plassard, C., and Dell, B. (2010). *Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees*. *Tree Physiol.* 30, 1129–1139. doi: 10.1093/treephys/tpq063.
- Ravnskov, S.; Jakobsen, I. (1995). *Functional compatibility in arbuscular mycorrhizas measured as hyphal P transport to the plant*. *New Phytol.* 129, 611–618.
- Rios, W.; Barrios, L., Rojas, J., and Valdez, R. (2019). *Mycotrophic capacity and diversity of native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from degraded soils*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto; Jr. Maynas 177, Tarapoto, San Martín, Perú.
- Rojas, L. (2010). *Respuesta del cultivo de pimentón (Capsicum annuum) a la inoculación con Glomus manihotis y Acaulospora lacunosa*. Maracaibo – Zulia.
- Rodríguez, Y. Y., Noval P. B., Fernández M. F. y Rodríguez H. P. (2004). *Estudio comparativo de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (Lycopersicon esculentum M. var “Amalia”)*. *Ecología Aplicada* 13: 162-171.
- Rodríguez-Romero, A., S., Guerra, M., S., P., Jaizme-Vega, M., D., C. (2005). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on banana growth and nutrition*. *Agron. Sustain. Dev.* 25, 395–399.
- Romero, G. (2018). *Efecto de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares en plántulas de Coffea arabica L., variedad caturra en condiciones de vivero en la región San Martín*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.
- Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, Á.M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., et al. (2015). *Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactone biosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato*. *Plant Cell Environ.* 39 (2), 441–452. doi: 10.1111/pce.12631.
- Ruth, B., Khalvati, M., Schmidhalter, U. (2011). *Quantification of mycorrhizal water uptake via high-resolution on-line water content sensors*. *Plant. Soil*, 342, 459–468.
- Rudawska, M., Kieliszewska-Rokicka, B., Leski, T., Oleksyn, J., (1995). *Mycorrhizal status of a Scots pine (Pinus sylvestris L.) plantation affected by pollution from a phosphate fertilizer plant*. 85, pages1281–1286.

- Santander, C., Sanhueza, M., Olave, J., Borie, F., Valentine, C., and Cornejo, P. (2019). *Arbuscular mycorrhizal colonization promotes the tolerance to salt stress in lettuce plants through an efficient modification of ionic balance*. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 19 (2), 321–331. doi: 10.1007/s42729-019-00032-z.
- Saboya, A. (2019). *Efecto Bioprotector de Micorrizas Arbusculares en la Reducción de Roya (Hemileia vastatrix) en la Región San Martín*. Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.
- Salam, E., A., Alatar, A., and El-Sheikh, M., A. (2017). *Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi alleviates harmful effects of drought stress on damask rose*. *Saudi J. Biol. Sci.* 25 (8), 1772–1780. doi: 10.1016/j.sjbs.2017.10.015.
- Sawers, R. J. H., Svane, S. F., Quan, C., Grønlund, M., Wozniak, B., Gebreselassie, M.-N., Paszkowski, U. (2017). *Phosphorus acquisition efficiency in arbuscular mycorrhizal maize is correlated with the abundance of root-external hyphae and the accumulation of transcripts encoding PHT1 phosphate transporters*. *New Phytologist*, 214, 632–643. <https://doi.org/10.1111/nph.14403>.
- Schenck, N.; Perez, Y. (1990). *Manual for identification of MVA mycorrhizal fungi*. 3<sup>a</sup> Edition. Florida: Sinergistic publication.
- Schlesinger, W., H., Andrews, J., A. (2000). *Soil respiration and the global carbon cycle*. *Biogeochemistry* 48:7–20.
- Schüessler, A., Schwarzott, D., Walker, C. (2001). *A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution*. *Mycological Research* 105:1413-1421.
- Selosse, M. A., Strullu-Derrien, C., Martin, F. M., Kamoun, S., and Kenrick, P. (2015). *Plants, fungi and oomycetes: a 400-million years affair that shapes the biosphere*. *New Phytol.* 206, 501–506. doi: 10.1111/nph.13371.
- Sieverding, E. (1991). *Vesicular Arbuscular Mycorrhizal in Tropical Agrosystems*. Federal Republic of Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 371 p.

- Siddiqui, Z.A.; Pichtel, J. (2008). *Mycorrhizae: An Overview*. In *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin, Germany, pp. 1–35.
- Smith, S., y Read, D. (2008). *Colonization of roots and anatomy of arbuscular mycorrhiza*. London: Academic Press. *Mycorrhizal Symbiosis*, 2008, p. 42-90.
- Smith, S., E., Jakobsen, I., Grnlund, M., and Smith, F., A. (2011). *Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition*. *Plant Physiol.* 156, 1050–1057. doi: 10.1104/pp.111.174581.
- Smith, S.E.; Read, D.J. (2010). *Mycorrhizal Symbiosis*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, ISBN 978-0-08-055934-6.
- Smith, S., E., Smith, F., A. (2011) Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. *Annu Rev Plant Biol* 62:227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103846>.
- Smith, S. and Read, D. J. (1997). *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London, UK.
- Smith, S. E., Anderson, I. C., and Smith, F. A. (2015). “*Mycorrhizal associations and phosphorus acquisition: from cells to ecosystems*,” in *Annual Plant Reviews*, Vol. 48, eds W. C. Plaxton and H. Lambers (Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc), 409–439. doi: 10.1002/9781118958841.ch14.
- Sharma I.P., Sharma, A.K. 2017. *Physiological and biochemical changes in tomato cultivar PT-3 with dual inoculation of mycorrhiza and PGPR against root-knot nematode*. *Symbiosis* 7: 175-183.
- Shen, J., Yuan, L., Zhang, J., Li, H., Bai, Z., Chen, X., et al. (2011). *Phosphorus dynamics: from soil to plant*. *Plant Physiol.* 156, 997–1005. doi: 10.1104/pp.111.175232.
- Syamsiyah, J., Herawati, A., and Mujiyo. (2018). *Te potential of arbuscular mycorrhizal fungi application on aggregate stability in alfisol soil*. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* 142, 012045. doi: 10.1088/1755-1315/142/1/012045.

- Sotomayor, I. y Duicela, L. (1988). *Manual práctico de semilleros y viveros de café (2da ed.)*. Estación experimental tropical Pichilingue – INIAP. Quevedo, Ecuador. 44 pp.
- Song, Z.; Bi, Y.; Zhang, J.; Gong, Y.; Yang, H. (2020). *Arbuscular mycorrhizal fungi promote the growth of plants in the mining associated clay*. *Sci. Rep.* 10, 1–9.
- Tawaraya, K. (2003). “*Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars,*” *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 49, no. 5, pp. 655–668.
- Tanaka, Y., and Yano, Y. (2005). *Nitrogen delivery to maize via mycorrhizal hyphae depends on the form of N supplied*. *Plant Cell Environ.* 28, 1247–1254. doi: 10.1111/j.1365-3040.2005.01360. x.
- Tahat, M.; Kamaruzaman, S.; Radziah, O.; Kadir, J.; Masdek, H. (2008). *Plant Host Selectivity for Multiplication of Glomus mosseae Spore*. *Int. J. Bot.* 4, 466–470.
- Tian, J., P., Jin, Z., Xie., T. (2012). *Mathematical model for two germline stem cells competing for niche occupancy*. *Bull. Math. Biol.* 74(5): 1207--1225.
- Tran, H., T., N., Ang, K., S., Chevrier, M., Zhang, X., Lee, N., Y., S., Goh, M., & Chen, J. (2020). *A benchmark of batch-effect correction methods for single-cell RNA sequencing data*. 21, Article number: 12.
- Trejo, D.; Ferrera, R.; García R.; Varela L.; Lara L. y Alarcón A. (2011). *Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo*. Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 23-31 p.
- Trouvelot, A.; Kough, J.; Gianinazzi, V. (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, pp. 217–221.
- Trouvelot, S.; Bonneau, L.; Redecker, D.; Van Tuinen, D.; Adrian, M.; Wipf, D. (2015). *Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: A review*. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1449–1467.

- Turrini, A., Bedini, A., Loor, M. B., Santini, G., Sbrana, C., Giovannetti, M., *et al.* (2018). *Local diversity of native arbuscular mycorrhizal symbionts differentially affects growth and nutrition of three crop plant species*. *Biol. Fertil. Soils* 54, 203–217. doi: 10.1007/s00374-017-1254-5.
- Vandresen, J.; Nishidate, F.R.; Torezan, J.M.D.; Zangara, W. (2007). *Inoculação de fungos micorrízicos Arbusculares e adubação na formação e pós-transplante de mudas de cinco espécies arbóreas nativas do sul do Brasil*. *Acta Bot. Bras.* 21, 753–765.
- Van Der Heijden, M.; Klironomos, M.; Ursic, P.; Moutoglis, R.; Streitwolf, T.; Boller, A. (1998). *Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity*. *Nature* 396: 69-72.
- Van der Heijden, M. G., Martin, F. M., Selosse, M. A., and Sanders, I. R. (2015). *Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future*. *New Phytol.* 205, 1406–1423. doi: 10.1111/nph.13288.
- Van der Linde, S., Suz, L. M., Orme, C. D. L., Cox, F., Andreae, H., Asi, E., *et al.* (2018). *Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi*. *Nature* 558, 243–258. doi: 10.1038/s41586-018-0189-9.
- Van Geel, M., Jacquemyn, H., Plue, J., Saar, L., Kasari, L., Peeters, G., *et al.* (2018). *Abiotic rather than biotic filtering shapes the arbuscular mycorrhizal fungal communities of European seminatural grasslands*. *New Phytol.* 220, 1262–1272. doi: 10.1111/nph.14947.
- Vos, C., Tesfahun, A., Panis, B., De Waele, D., Elsen, A. (2012). *Arbuscular mycorrhizal fungi induce systemic resistance in tomato against the sedentary nematode *Meloidogyne incognita* and the migratory nematode *Pratylenchus penetrans**. *Appl. Soil Ecol.* 61, 1–6.
- Wallander H, Göransson H, Rosengren U. (1997). *Production, standing biomass and natural abundance of <sup>15</sup>N and <sup>13</sup>C in ectomycorrhizal mycelia collected at different soil depths in two forest types*. *Oecologia* 139:89–97.

- Watts-Williams, S.J., Gilbert, S.E. (2020). *Arbuscular mycorrhizal fungi affect the concentration and distribution of nutrients in the grain differently in barley compared with wheat*. Plants People Planet.
- Watts-Williams, S. J., Cavagnaro, T. R., & Tyerman, S. D. (2019). *Variable effects of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on physiological and molecular measures of root and stomatal conductance of diverse Medicago truncatula accessions*. Plant, Cell and Environment, 42, 285– 294. <https://doi.org/10.1111/pce.13369>.
- Wu, B. W., Gao, C., Chen, L., Buscot, F., Goldmann, K., Purahong, W., *et al.* (2018). *Host phylogeny is a major determinant of Fagaceae-associated ectomycorrhizal fungal community assembly at a regional scale*. Front. Microbiol. 9:2409. doi: 10.3389/fmicb.2018.02409.
- Yang, S., Li, F., Malhi, S. S., Wang, P., Dongrang, S., and Wang, J. (2004). *Long term fertilization effects on crop yield and nitrate nitrogen accumulation in soil in Northwestern China*. Agron. J. 96, 1039–1049. doi: 10.2134/ agronj2004.1039.
- Yamato, M.; Ikeda, S.; Iwase, K. (2008). *Community of arbuscular mycorrhizal fungi in a coastal vegetation on Okinawa island and effect of the isolated fungi on growth of sorghum under salt-treated conditions*. Mycorrhiza, 18, 241–249.
- Yooyongwech, S., Samphumphuang, T., Tisarum, R., Teerawitaya, C., and Chaum, S. (2016). *Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerance in two different sweet potato genotypes involves osmotic adjustments via soluble sugar and free proline*. Sci Hort. 198, 107–117. doi: 10.1016/j.scienta.2015.11.002.
- Yousaf, B., Liu, G., Wang, R., Imtiaz, M., Zia-ur-Rehman, M., Munir, M. A. M., *et al.* (2016). *Bioavailability evaluation, uptake of heavy metals and potential health risks via dietary exposure in urban-industrial areas*. Environ. Sci. Pollut. Res. 23, 22443–22453. doi: 10.1007/s11356-016-7449-8.
- Wang, Y., Wang, M., Li, Y., Wu, A., and Huang, J. (2018). *Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nitrogen uptake of Chrysanthemum morifolium under salt stress*. PLoS One 13 (4), e0196408. doi: 10.1371/journal.pone.0196408.

- Wang, Y., and Wu, W. H. (2013). *Potassium transport and signaling in higherplants*. *Ann. Rev. Plant Biol.* 64, 4.1–4.26. doi: 10.1146/annurev-arplant-050312-120153.
- Wu, Z., McGrouther, K., Huang, J., Wu, P., Wu, W., and Wang, H. (2014). *Decomposition and the contribution of glomalin-related soil protein (GRSP) in heavy metal sequestration: field experiment*. *Soil Biol. Biochem.* 68, 283–290. doi: 10.1029/2007JD008789.
- Wu, Q.-S.; Li, G.-H.; Zou, Y.N. (2011). *Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient acquisition of peach (Prunus persica L. Batsch) seedlings*. *J. Anim. Plant. Sci.* 21, 746–750.
- Zangaro, W., Nisizaki, S., M., A., Domingos, J., C., B.; Nakano, E., M. (2003). *Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil*. *J. Trop. Ecol.* 19, 315–324.
- Zhang L, Xu M, Liu Y, Zhang F, Hodge A, Feng G. (2016). *Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium*. *New Phytol.* 210:1022–32.