

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Tipos y niveles de inóculos de micorrizas en la producción de
dos especies de pinos en tubetes, Vivero Forestal**

Huamanga 2761 msnm, Ayacucho

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Gary Gil Gutiérrez Arancibia**

Ayacucho – Perú

2019

A mi padre, Rufino Gutiérrez Espinoza, por su apoyo incondicional brindada en el desarrollo y culminación de mi carrera profesional.

A mi madre, Jacinta Arancibia Palomino, símbolo de fortaleza y amor, quien me dio la vida y quien fue mi mayor fuerza para seguir siempre adelante, quien ha estado conmigo en los momentos felices, sobre todo en los difíciles

A mis hermanos Elisa, María, Cristian y Maylin, por su constante apoyo incondicional y cariño, que hicieron posible mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, *Alma Mater* de mi formación profesional, a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Agronomía, gestora de mis estudios superiores, por la excelente formación personal y profesional que me brindó durante mi carrera universitaria.

A la institución AGRORURAL, agencia Ayacucho, por haberme brindado la oportunidad de realizar la tesis, a todos sus integrantes, en especial al especialista Ing. Gualberto Villar Vega.

A la M.Cs. Roberta Esquivel Quispe, responsable del laboratorio de Agrobiología, por su apoyo profesional para culminar el presente trabajo.

Deseo expresar mi especial agradecimiento al Dr. Rómulo A. Solano Ramos, asesor del presente trabajo, por sus invaluables orientaciones, por su apoyo profesional durante la realización del trabajo.

A todas las personas que de una y otra manera contribuyeron en la culminación del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	ix
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	13
1.1. Antecedentes	13
1.2. Aspectos temáticos	14
1.2.1. Forestación.....	14
1.2.2. Pinos.....	14
1.2.3. Micorrizas	17
1.2.4. Vivero	32
CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA	38
2.1. Ubicación del vivero	38
2.2. Características del vivero forestal	39
2.3. Materiales y herramientas	40
2.4. Factores de estudio.....	41
2.5. Diseño experimental	42
2.6. Instalación y desarrollo del experimento	42
2.7. Criterios de evaluación.....	45
CAPÍTULO III	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
3.1. Altura de plantas de pinos	46

3.1.1. Altura de planta en <i>Pinus radiata</i>	47
3.1.2. Altura de planta de <i>Pinus patula</i>	49
3.2. Diámetro de tallo	50
3.2.1. Diámetro de tallo en <i>Pinus radiata</i>	50
3.2.2. Diámetro de tallo en <i>Pinus patula</i>	51
3.3. Peso seco del tallo	52
3.3.1. Peso seco del tallo de <i>Pinus radiata</i>	53
3.3.2. Peso seco del tallo en <i>Pinus patula</i>	53
3.4. Longitud de raíz	54
3.4.1. Longitud de raíz de <i>Pinus radiata</i>	55
3.4.2. Longitud de raíz en <i>Pinus patula</i>	55
3.5. Peso seco de raíz	56
3.5.1. Peso seco de raíz en <i>Pinus radiata</i>	57
3.5.2. Peso seco raíz en <i>Pinus patula</i>	57
3.6. Relación peso seco tallo/peso seco raíz	58
3.7. Número de micorrizas en la raíz	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	63
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Géneros de micorrizas presentes en los diferentes tratamientos.....	26
Tabla 1.2. Efectos de la inoculación con micorrizas en <i>Bactris gasipaes</i> H.B.K. a los 5 y 8 meses después del trasplante Yurimaguas, Perú.....	27
Tabla 1.3. Contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y manganeso en partes aéreas y raíces de plantas de <i>Bactris gasipaes</i> H.B.K. inoculadas (M+) y no inoculadas (M-) con micorrizas. Yurimaguas, Perú.....	27
Tabla 1.4. Características agronómicas y fisiológicas de plantas de palta raza mexicana (<i>Persea americana</i> Mill) a los 200 días del trasplante...	29
Tabla 2.1. Tratamientos.....	41
Tabla 3.1. Análisis de variancia de la altura de plantas de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	46
Tabla 3.2. Análisis de variancia del diámetro de tallo de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	50
Tabla 3.3. Análisis de variancia del peso seco del tallo de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	52
Tabla 3.4. Análisis de variancia de la longitud de raíz de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	54
Tabla 3.5. Análisis de variancia del peso seco de la raíz de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	55
Tabla 3.6. Análisis de variancia de la relación peso seco tallo y peso seco raíz de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1.	Efecto de la aplicación de micorrizas y de inóculos en la altura de la plántula del chachafruto (<i>Eritrina edulis</i>) en vivero.....	26
Figura 2.1.	Ubicación del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray.....	39
Figura 2.2.	Vivero de AGRORURAL, distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Ayacucho.....	39
Figura 2.3.	Croquis de la parcela experimental.....	43
Figura 3.1.	Diagrama de caja de la altura de planta entre los <i>Pinus radiata</i> y <i>P. patula</i> AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	47
Figura 3.2.	Tendencia de la altura de planta en función de los niveles y tipos de inóculo en <i>P. radiata</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	48
Figura 3.3.	Tendencia de la altura de planta en función de los niveles y tipos de inóculo en <i>Pinus patula</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm	49
Figura 3.4.	Tendencia del diámetro de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus radiata</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	51
Figura 3.5.	Tendencia del diámetro de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus patula</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	52
Figura 3.6.	Tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus radiata</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	53
Figura 3.7.	Tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus patula</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	54
Figura 3.8.	Tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus radiata</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	55
Figura 3.9.	Tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus patula</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	56
Figura 3.10.	Tendencia del peso seco de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus radiata</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	57

Figura 3.11. Tendencia del peso seco de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en <i>Pinus patula</i> . AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.....	58
Figura 3.12. Prueba de Tukey (0.05) del efecto principal de la relación peso seco del tallo y peso seco de la raíz en las especies de pinos en promedio de los sustratos y sus niveles.....	59
Figura 3.13. Número de micorrizas en la raíz de <i>Pinus radiata</i> y <i>P. patula</i>	60

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Ecuación del diámetro de tallo de la planta de <i>Pino patula</i>	68
Anexo 2. Ecuación de la longitud de raíz de la planta de <i>Pino radiata</i>	69
Anexo 3. Número de micorrizas en las raíces de dos especies de pinos.....	70
Anexo 4. Panel fotográfico.....	71

RESUMEN

El trabajo se realizó en el vivero forestal de alta tecnología de AGRORURAL-Ayacucho, ubicado en Canaán Bajo con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos y cinco niveles de inóculo de micorrizas en la producción en tubetes de plántones de dos especies de pino bajo las condiciones de vivero, provincia de Huamanga, Ayacucho, para ello, se utilizó el Diseño Completo Randomizado (DCR), con 40 tratamientos resultado de: 02 especies de pino, 02 tipos de inóculo de micorrizas y 5 niveles de inóculo de micorrizas (05 niveles para suelo micorrizado y 05 niveles para micorriza comercial) anidados dentro de la interacción especie por inóculo con cuatro repeticiones de 10 unidades experimentales cada uno. Se realizó el análisis de variancia (ANVA) dentro del diseño anidado, además se evaluaron las tendencias de las variables en estudio. Los resultados señalan que el suelo micorrizado es el inóculo de micorriza que influye mejor en la producción en tubetes de plántones de *Pinus radiata* y *Pinus patula*. No se ha logrado determinar el nivel óptimo de los inóculos de micorrizas, pues, las líneas de tendencia son lineales con excepción del diámetro de tallo en *Pinus patula* que alcanza su máximo valor con 4.43 g de micorriza comercial y en *Pinus radiata*, la longitud de raíz alcanza su máximo valor con 6.95 g de suelo micorrizado. Al observar las raíces de plántones de *Pinus radiata* que recibieron 8 g de suelo micorrizado se encontró 534 micorrizas monopodiales y 37 dicotómicas mientras que en *Pinus patula* sólo hay 397 monopodiales y 16 dicotómicas.

Palabra clave: Pino, micorriza, producción de plántones, vivero, Ayacucho

INTRODUCCIÓN

Todas las plantas necesitan nutrientes para su normal crecimiento y desarrollo, para ello, existen diversos tipos de nutrientes, como los fertilizantes inorgánicos y orgánicos; sin embargo, los primeros causan alteraciones al suelo produciendo su degradación. Mientras que los abonos orgánicos, entre ellos los provenientes de los microorganismos presentes en el suelo y en la biosfera son muy importantes en especial aquellos microorganismos fungosos que realizan una asociación llamada micorriza, debido a que mejoran la absorción de los nutrientes, el aspecto fisiológico y en la protección de la raíz contra organismos parásitos. Además, se considera interesante su intervención en el reciclaje de nutrientes de un ecosistema.

En la región de Ayacucho el pino se ha convertido en una especie con alto valor económico, el cual en la actualidad presenta creciente demanda por la calidad de su madera y la producción de un hongo comestible de nivel internacional que genera ingresos económicos en beneficio de la calidad de vida de la población.

Los escasos trabajos en producción de pinos en nuestra región han permitido la planificación del presente, con la finalidad de determinar el efecto del tipo y niveles de inóculo de micorrizas en la producción de plantones de dos especies de pinos.

La investigación se realizó con los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar el efecto de dos tipos y cinco niveles de inóculo de micorrizas en la producción en tubetes de plantones de calidad de dos especies de pino, bajo las condiciones de vivero de alta tecnología de la provincia de Huamanga, Ayacucho.

Objetivos específicos

- Determinar el mejor tipo de inóculo de micorrizas en la producción en tubetes de plántones de calidad de dos especies de pino, bajo condiciones de vivero de alta tecnología.
- Determinar el nivel óptimo de micorrizas en la producción en tubetes de plántones de calidad de dos especies de pino, bajo condiciones de vivero de alta tecnología.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

Roncal (2007) realizó un trabajo de investigación en las áreas de revegetación de la mina Yanacocha ubicada en la cordillera oriental de Cajamarca, a 3965 m.s.n.m con los objetivos de; 1) determinar la taxonomía de los hongos micorrícicos del pino (*Pinus patula* Schl.et Cham) y quinual (*Polylepis racemosa* Ruiz y Pavon) y, (2) determinar el efecto de micorrizas y el bioestimulante humiforme, en el establecimiento de estas especies forestales. Los hongos micorrícicos y las raicillas fueron colectados en los bosques de pino de Aylambo, Porcón y Yanacancha Grande, en Cajamarca, luego fueron llevados a laboratorio para su análisis e identificación taxonómica y el uso posterior en la preparación de inóculo micorrítico para cada especie. Los tratamientos, testigo (TJ), micorriza (TJ), humiforte (TJ) y micorriza + humiforte (TJ), fueron aplicados a cada especie forestal la noche anterior a la siembra. Identificó y clasifico al hongo micorrítico del quinual como perteneciente al género *Cunninghamelia* sp. Y al hongo micorrítico del pino como *Suillus luteus*.

Irazábal (2004) señala que los hongos micorrícicos arbusculares son microorganismos claves, particularmente en ambientes donde las condiciones edafoclimáticas son severas, los talaes bosques xéricos dominados por *Cetrus tala*, *Scutia buxifolia* comprenden la comunidad boscosa más importante de la región Pampeana. Se desarrollaron sobre cordones conchiles depositados durante las intrusiones marinas del cuaternario, en suelos rendoles. Se estimó la infectividad y la diversidad de hongos micorrícicos de 5 situaciones; bosque puro de tala, bosque puro de coronillo, bosque con dominancia de las dos especies y dos áreas desmontadas la infectividad se valoró mediante bioensayos. Empleó diluciones de suelo (1:0, 1:4 y 1:40) y alfalfa (*Medicago sativa*) como planta hospedera. La colonización presentó niveles altos y estables en todas las diluciones y situaciones el número de esporas fue significativamente mayor en los desmontes. Se identificaron 26 especies de hongos micorrícicos arbusculares

pertenecientes a Glomeraceae y Acaulosporaceae, pocas especies pertenecieron a Gigasporaceae, Glomusclarum, *Acaulospora delicata*, *A. sp. L.*, *A. mellea*, *Glomusconstrictum* y *G. caretenum*, fueron las especies de mayor abundancia relativa.

1.2. ASPECTOS TEMÁTICOS

1.2.1. Forestación

- **Importancia de la forestación**

Solano (2013) menciona que los bosques y las personas están interconectados, y ha sido así desde los tiempos inmemorables. Siempre se ha tenido una especial relación basada en la supervivencia. Era una delicada cadena de existencia que antes se trataba con respecto y aprecio. Pero las personas empezaron a trastornar este equilibrio. Empezaron a ver el bosque no como parte de ellos sino como algo a ser conquistado. Usaron los bosques, que aparentaban sin límites, cortando millones de árboles. Pero ahora nos hemos dado cuenta que los bosques si tienen límites y que ya es tiempo de regresar al equilibrio anterior.

- **Beneficios de la forestación**

Bienes. Solano (2013) indica que son todos los beneficios directos que brindan los árboles. Proporciona madera y un sinnúmero de productos derivados como papel, cartón, laca, trementina, leña, carbón, látex, saborizantes, etc. Algunos autores indican que son 7,000 sub productos aprovechables de los árboles.

Servicios. Solano (2013) señala que los arboles brinda muchos beneficios, como protección contra la erosión, contra el frío, contra el calor, nos da oxígeno, absorbe el CO₂ (anhídrido carbónico), mantiene la humedad, permite el crecimiento de nuevas plantas, protege del viento, del ruido, cría a los diferentes animales, etc. Además, cumple un papel sociológico, debido a que cada vez más artificiales formas de vida urbana obligan al hombre a experimentar cada día más intensamente la necesidad de estar en contacto con la naturaleza.

1.2.2. Pinos

- **Clasificación taxonómica**

Según la clasificación de Cronquis (1987)

Reino : Plantae
División : Pinophyta
Clase : Pinopsida
Orden : Pinales
Familia : Pinaceae
Género : Pinus
Especie : *P. radiata*
: *P. pátula*

- ***Pinus radiata***

Origen: Su área natural ocupa una pequeña extensión en el litoral e islas de California, pero se ha extendido artificialmente por todo el mundo mediante repoblación forestal. En España es muy frecuente en repoblaciones efectuadas en altitudes inferiores a 500 m, en Galicia, Cornisa Cantábrica y País Vasco.

Características edafoclimáticas

Vinueza (2015) menciona que las condiciones edafoclimáticas adecuadas para el desarrollo del pino variedad radiata es:

Requerimientos climáticos

Altitud : 1.800 – 3.500 msnm

Precipitación : 800 – 1.300 mm.

Temperatura : 11 – 17 °C

Descripción botánica

Vinueza (2015) manifiesta que el árbol de pino tiene 30 - 50 m de altura, de porte regular, piramidal en la juventud, luego ensanchado, globoso o truncado. El sistema radical es somero, de poco desarrollo en comparación al aéreo. El tronco es recto, con corteza pardo – rojiza gruesa, que pronto se agrieta y arruga. La copa es densa, y las ramas verticiladas, en forma de brazos de candelabro, horizontales o erecto patentes. Las yemas son ovoides – agudas, con escamas rojizas apenas resinosas. Las acículas aparecen envainadas de tres en tres; son de color verde vivo y miden de 7 a 15 cm de longitud; duran hasta 3 o 4 años en la planta. Las flores masculinas son muy abundantes y apretadas, de color pardo amarillento con tonos vinosos. Los conos floríferos femeninos son purpúreo violáceos. Las piñas, de 7 – 14 x 5 – 8 cm, aparecen en

verticilos de 3 – 5 o apareadas, subsentadas, muy asimétricas, con la apófisis de las escamas externas muy prominentes; el piñón es negruzco, de 5 – 8 mm de longitud, con un ala estrecha, 3 – 4 veces más larga que la semilla. Florece de marzo a abril y las piñas se abren en el segundo otoño, aunque a veces permanecen cerradas varios años sin que sufra alteraciones la capacidad germinativa del piñón.

- ***Pinus patula***

Wormald (1975) describe al árbol como de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m, con una raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, 20 m³/Ha/año. El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad.

Habitad

Eguiluz (1982) manifiesta que las plantas de pino se encuentran entre los 1800 y 2700 m.s.n.m. No soporta grandes períodos de temperaturas tan bajas como -10 °C, pero ocasionalmente las resiste y aún más bajas. Es moderadamente tolerante a la sequía, en este ámbito es superior que *Pinus taeda*. El rango de lluvias va desde los 750 a 2000 mm anuales, y ocurre principalmente en verano, pero en el estado de Veracruz en la Sierra Madre Oriental su hábitat es lluvioso todo el año.

Descripción botánica

Hojas

Wormald (1975) menciona que tiene hojas perennifolias. El renuevo de hojas ocurre en dos períodos, en febrero brotan las hojas del primer internudo (maduran en marzo), en mayo comienza la aparición de nuevas hojas en el segundo internudo (maduran en junio), al tiempo que caen las formadas al inicio del año.

Flores

Wormald (1975) menciona que las flores masculinas y femeninas ocurren separadamente en la misma planta. Los conos masculinos (estaminados) son de color amarillo y ocurren abundantemente en racimos en vástagos nuevos, usualmente en la región inferior de la copa. Los conos femeninos (pistilados) son de color purpúreo, tienen espinas deciduas y aparecen de manera solitaria o en grupos, por lo general lateralmente, pero rara vez en posición sub-terminal, y en la región superior de la copa.

Frutos

Wormald (1975) describe que los frutos son conos serótinicos. La maduración de los frutos se presenta hasta el final del año siguiente, el ciclo fenológico desde el inicio de la floración hasta la madurez de la semilla, es aproximadamente de 24 meses. El período de fructificación se presenta cada cuatro o cinco años, “año semillero”; sin embargo, en condiciones climáticas favorables se puede presentar producción anual.

1.2.3. Micorrizas

Solano (2013) indica que las micorrizas vienen a ser asociaciones benéficas que se realiza entre las raíces de las plantas superiores y las hifas de los hongos. Las hifas, son estructuras vegetativas de los hongos cuyos filamentos son algodonosos.

Entre los beneficios que producen las micorrizas en las plantas asociadas, se pueden destacar los siguientes: facilitan su nutrición, crecimiento y desarrollo; mejoran su tolerancia frente al estrés hídrico y a los agentes patógenos; facilitan su adaptación a suelos salinos y contribuyen con la disminución de la erosión en las áreas alledañas). Estos beneficios son la base fundamental que le permite a la planta mayor adaptación al medio, mayor competitividad con las plantas acompañantes no micorrizadas y mayor productividad.

Young (2007) señala que la palabra micorriza, tiene un origen griego y define la simbiosis entre un hongo (mycos) y las raíces (rhyzos) de una planta. Como en otras relaciones simbióticas, ambos participantes obtienen beneficios. En este caso la planta recibe del hongo principalmente nutrientes minerales y agua y el hongo obtiene de la planta hidratos de carbono y vitaminas que por sí mismo es incapaz de sintetizar mientras que la planta lo puede hacer gracias a la fotosíntesis y otras relaciones internas.

- **Ventajas de la micorrización**

Alexopoul (2007) menciona que las ventajas proporcionadas por la micorrización para las plantas son numerosas. Gracias a ella, la planta es capaz de explorar más volúmenes de suelo del que alcanza con sus raíces, al sumarle en esta labor las hifas del hongo; también capta con mayor facilidad ciertos elementos (fosforo, nitrógeno, calcio y potasio) y el agua del suelo. La protección brindada por el hongo hace que, además, la planta sea más resistente a los cambios de temperatura y la acidificación del suelo derivada de la presencia de azufre, magnesio y aluminio. Por si todo esto fuera poco,

algunas relaciones fisiológicas del hongo inducen a la raíz a mantener activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada.

Bolan (1991) y Fitter (1994) consideran que el beneficio de las micorrizas se traduce en 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 (nutrición). Este beneficio se basa en que las plantas requieren de diferentes iones de minerales para un óptimo crecimiento y desarrollo.

Las micorrizas pueden ayudar a las plantas a incrementar esta captación, tanto de forma directa como indirecta. De forma directa, las micorrizas aumentan en las raíces la toma de nutrientes minerales y agua del suelo debido a que poseen micelio externo que explora gran volumen de suelo que no está micorrizado. En este proceso se acepta que el papel clave de las micorrizas radica en que las hifas del hongo extienden el campo de absorción de la raíz más allá de la zona normal de agotamiento radicular (en 1-5 mm), y permiten a la raíz incrementar su superficie de absorción y explorar un volumen de suelo mayor del que lo hacen las raíces no micorrizadas, concretamente hasta 7 cm de la superficie radicular. Además, se ha logrado poner de manifiesto que las raíces micorrizadas absorben más eficazmente los fosfatos que las no micorrizadas y han calculado que en un centímetro de raíz micorrizada posee unos 80 cm de hifas externas.

Sin embargo, Miyasaka (2003) en estudios realizados concluyó, que la absorción más eficiente por las raíces micorrizadas se debe fundamentalmente a una aceleración de la disociación del fosfato insoluble. De igual forma, Maldonado y Ramírez (1997), consideran que las micorrizas permiten lograr una mayor absorción de nutrientes en la solución del suelo, en especial de elementos pocos móviles, fundamentalmente el fósforo y otros como zinc, azufre, calcio, molibdeno, boro. Miyasaka (2003) y Velasco (2000), igualmente destacan que el papel de las micorrizas es ayudar a las plantas a incrementar la eficiencia de la utilización del fósforo.

Así mismo, Raddattz (2002), Londoño (1991) y Pate (1994) reportan que, en la asociación, el hongo recibe de la planta productos fotosintéticos (fotosintatos), los cuales son adquiridos por el hongo en un porcentaje de 1 a 12% de todos los fotosintatos asimilados por la planta, los que a su vez son intercambiados en las células

del parénquima de la raíz por moléculas que contienen fósforo, nitrógeno, potasio, magnesio, zinc, azufre, calcio, entre otros. Miyasaka (2003) presenta parámetros como la longitud, el diámetro, el área de superficie y la densidad de vellosidades de la raíz, importantes para aumentar los nutrientes tomados por la planta. Consecuentemente, cambios que traen las micorrizas en la morfología de la raíz como la ramificación y elongación, podrían constituir un mecanismo adicional para la absorción de fósforo. Sin embargo, el mecanismo por el cual las micorrizas modifican la morfología de la raíz aún no es claro (Pate, 1994).

En cuanto al efecto indirecto de las micorrizas, ha sido relacionado con la facilitación del proceso de absorción normal por parte de la planta, al mejorar el reciclaje de nutrientes. Maldonado (1997) plantea otro efecto indirecto como es el aumento en la eficiencia de otros microorganismos que tienden a asociarse con las micorrizas, tales como *Rizhobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, que a su vez incrementan la captación de nutrientes para las plantas. Fitter (1994), encontró que las micorrizas interactúan con otros organismos del suelo y estas interacciones pueden inhibir (crean competencia entre ellos) o estimular (forman asociaciones mutualistas). Sin embargo, en muchos casos no ha sido posible definir completamente dichas interacciones. Entre los organismos mencionados pueden estar hongos patógenos (a nivel del micelio interno), protozoarios, nemátodos y artrópodos.

Además de las explicaciones mencionadas, Alarcón y Ferrera (1996), reportan informes de otros autores que indican que el beneficio no sólo se debe al establecimiento de los hongos en el sistema radical, sino que también intervienen diversos factores edáficos y ambientales e incluso de manejo de los agroecosistemas, que interactúan potencializando la capacidad del hongo para compensar o superar las funciones de la raíz en la absorción de nutrimentos y agua.

Igualmente, Raddattz (2002), reporta la producción de hormonas estimulantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, aunque Miyasaka (2003) manifiesta que resulta extremadamente difícil diferenciar los efectos producidos por las hormonas del hongo, de los producidos por hormonas vegetales y de los producidos indirectamente por el estado nutricional de las plantas como consecuencia de la micorrización.

Mejoran la tolerancia al estrés hídrico

Una de las mayores bondades que tienen las micorrizas es su capacidad de absorción de agua y por lo tanto, permiten mayor resistencia de la planta a la sequía (Raddatz, 2002). Esta resistencia es debida al incremento de la conductividad hídrica de la planta o a la disminución de la resistencia al flujo de agua a través de ella. También ha sido relacionado con la mayor absorción a través de la extensa red de hifas externas del hongo, extendidas más allá de la zona a la cual tiene acceso directo el sistema radical. De igual forma, se ha encontrado que, en suelos arenosos, con poca capacidad de retención de agua, la presencia de micorrizas ha ocasionado retención de agua cinco veces mayor que en ausencia de micorrizas en los mismos.

Mejoran la tolerancia frente a patógenos

Varios autores concuerdan en que las micorrizas pueden contribuir a la salud de la planta y a su productividad al aumentar el desarrollo de tolerancia a enfermedades y parásitos (Maldonado, 1997). Las ectomorrizas protegen la raíz ya que reciclan los carbohidratos, aminoácidos y otros compuestos producidos por las raíces, capaces de atraer agentes patógenos. Además, proveen una barrera física a patógenos debido a la formación del manto, en el cual las hifas individuales o cordones de hifas crecen hacia afuera, introduciéndose en el suelo, y hacia adentro, intercalándose entre las células del córtex de la raíz a través de la lámina media, formando un entramado denominado *red de Harting*. En esta red el micelio deja de estar tabicado, es xenobiótico, lo que se interpreta como ventaja para acelerar los procesos de intercambio. La red de Harting puede sintetizar compuestos como el diatretinenitrilo, con efecto de tipo antibiótico. Así mismo, Raddatz (2002) reporta tolerancia contra ataques de nematodos. Khanizadeh (1995) y Fitter (1994) encontraron mejor control de enfermedades y la disminución en gasto de insecticidas y funguicidas, con el uso de plantas micorrizadas.

En investigaciones realizadas, Fitter (1994). encontró que la mezcla de bacterias del genero *Rhizobium* con micorrizas, dan mayor vigor a la planta, lo cual la hace más resistente al ataque de patógenos, porque las micorrizas forman una barrera física impenetrable en la superficie de las raíces, variando en grosor y densidad. Además, se encontró que especies de micorrizas parasitan a otros hongos como es el caso del *Trichoderma* y lo destruyen. Sin embargo, existen interacciones donde las micorrizas pueden sobrecolonizar la planta y convertirse en parásitos.

Facilitan la adaptación a suelos salinos

La salinidad es un factor limitante de la producción agrícola, los estudios sobre micorrizas y tolerancia de las plantas a este estrés es relativamente reciente. Resultados reportados por Barea (2003), demuestran el efecto inducido por la micorrización en la disminución de la deficiencia nutritiva provocada por antagonismos iónicos, efecto secundario del estrés salino, lo que permite crecimiento mayor de las plantas micorrizadas. Concretamente, las micorrizas mejoran diversos procesos fisiológicos (incremento del ritmo de intercambio de CO₂, transpiración, cambios en la conductancia estomática, eficacia en el uso de agua), aparte del derivado de la captación de nutrientes. Adicionalmente, Corredor (2003) y Barea (2003), sugieren otros mecanismos para justificar el papel de las micorrizas en relación con la tolerancia a salinidad, tales como la inducción de cambios hormonales o la mejora en la capacidad de agua.

Contribuyen con la disminución de la erosión en las áreas aledañas

Se sabe que tanto el medio agrícola como los ecosistemas naturales pueden ser afectados por procesos de degradación de diversa índole, en cuanto a su origen y naturaleza, que inciden en la productividad y calidad de las cosechas y/o en la estabilidad, diversidad y productividad de los ecosistemas.

La utilización de micorrizas no sólo ha facilitado mejor revegetalización en condiciones particulares, como pueden ser la recuperación de suelos degradados por la minería y la introducción de especies exóticas en distintas partes del mundo, sino también ha mejorado la repoblación de especies vegetales en suelos forestales.

Lo anterior es confirmado por Londoño (1991) y Rodríguez (2002), quienes manifiestan que cuando se aplican hongos edáficos, la pérdida por lixiviación, fijación y erosión se disminuye, dado que la red de hifas captura y trasloca elementos nutritivos hacia la planta desde sitios no explorados por la raíz; así en los sistemas selváticos de los trópicos húmedos, el reciclaje de nutrientes de la materia orgánica descompuesta hacia la planta, la hacen los hongos, principalmente por los sistemas micorrícicos.

• Descubrimiento

Young (2007) señala que el primero en observar las micorrizas y bautizarlas con el nombre que lleva actualmente fue el botánico alemán Albert Berthard Frank, 1885, tras

detectar su presencia en varios árboles frutales. En 1900, el francés Bernard descubrió su extrema importancia en la vida y desarrollo de las orquídeas. En 1910 comenzó a extenderse su estudio en las plantas utilizadas en la agricultura y jardinería.

No obstante, no fue hasta 1955, con la publicación de los primeros estudios de Mosse en Inglaterra, cuando las micorrizas dejaron de considerarse como excepciones y se aceptó su importancia y generalidad reales. En tiempos más recientes, numerosos hallazgos fósiles han permitido determinar que el origen y la presencia de las micorrizas son enormemente antiguos, pues se ha llegado a encontrar esporas de Glomeromycota en estratos de hasta 460 millones de años de antigüedad, pertenecientes al periodo ordovícico.

- **Tipos de micorriza**

Read (1999) manifiesta que se pueden distinguir tres grupos fundamentales según la estructura de la micorriza formada: Ectomicorrizas o formadoras de manto; Ectendomicorrizas, que incluye Arbustoides y Monotropoides; y las Endomicorrizas, caracterizadas por la colonización intracelular del hongo, y que a su vez se subdividen en Ericoides, Orquidoides y Arbusculares:

a) Ectomicorrizas: Read (1999) menciona que las ectomicorrizas se caracterizan porque desarrollan una espesa capa de micelio sobre la zona cortical de las raíces absorbentes de la planta las hifas del hongo no penetran en el interior de las células de la raíz, si no que se ubican sobre y entre las separaciones de éstas. Se pueden observar a simple vista. Este tipo de micorrización predomina entre los árboles de zonas templadas, se producen principalmente sobre especies forestales y leñosos, siendo especialmente característico en hayas, robles, eucaliptus y pinos. Los hongos que la forman son tanto Basidiomycota como Ascomycota.

b) Endomicorrizas: Read (1999) señala que los hongos que las producen se caracterizan por colonizar intracelularmente el córtex radical o sea que no hay manto externo que pueda verse a simple vista. Las hifas se introducen inicialmente entre las células de la raíz, pero luego penetran en el interior de éstas, formando vesículas alimenticias y arbusculos. Por ello este grupo se las conoce también como micorrizas vesículo arbusculares (MVA) los cuales constituyen la simbiosis más extendida sobre el planeta. Los hongos que la forman pertenecen a la división

Glomeromycota y se dan en todo tipo de plantas, aunque predominan en hierbas y gramíneas.

c) **Ectendomicorrizas:** Read (1999) indica que estos hongos presentan características intermedias entre las Ectomicorrizas y las Endomicorrizas, pues presentan manto externo, como las Ectomicorrizas, pero también penetran en el interior de las células, como las Endomicorrizas y no existen vesículas ni arbusculos. Este grupo se presenta tanto en Basidiomycota como Ascomycota y son más abundantes en angiospermas que en gimnospermas. Su distribución es restringida.

- **Inóculo de micorrizas**

Garrido (1986) describe que se debe entender como inóculo a aquel producto biológico que facilita la introducción de microorganismos con diversa actividad fisiológica que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Shafer (1988) determina importantes desarrollos radiculares y en las variables de crecimiento aéreo de plantas de Raulí inoculadas con las *ectomicorrizas Laccaria laccata* y *Telephora terrestre*. Esto coincide con lo establecido por algunos autores en cuanto a que, el crecimiento del hospedero es mayor cuando la planta crece en suelos pobres en nutrientes (Donoso, 1981; Garrido, 1986).

- **Tipos de inóculo**

- a) **Micorrización mediante suelo de bosque**

Carrillo (1991) indica que es un método de bajo costo, en muchas ocasiones, ha entregado buenos resultados de inoculación con los hongos micorrícicos presentes en el suelo, permitiendo incrementos en el crecimiento de las plantas junto con una mayor protección a patógenos del suelo.

Garrido (1982) menciona que los hongos introducidos de esta forma, podrían ser fácilmente adaptables a las condiciones locales. Por lo general, los viveros forestales que emplean esta metodología de inoculación ocupan gran cantidad de suelo de bosque o de áreas cercanas al vivero, lo que aporta cierta cantidad de esporas de hongos micorrícicos que actúan como inóculos para las nuevas plantas a producir, sin embargo, la formación de micorrizas suele ser errática y sin ningún control en la selección

específica de los hongos. Por otro lado, el uso de suelos sin esterilizar aumenta el riesgo de aparición de malezas y enfermedades radiculares y de cuello de raíz. Estas suelen ser difíciles de erradicar, disminuyendo notablemente la producción de plantas en el vivero.

b) Micorrización mediante esporas

Carrillo, (1991) señala que el uso de este tipo de inoculante es muy utilizado en los viveros forestales esencialmente con hongos que producen gran cantidad de esporas o cuerpos frutales. Esto permite inocular un gran número de plantas, cuyos cuerpos de fructificación pueden ser bastante grandes, conteniendo un gran número de esporas en todo el tejido interno. Estos esporocarpos pueden ser usados para proveer inóculos esporales frescos o secos sin necesidad de requerimientos especiales en cuanto a procedimientos y equipamiento, pudiendo ser usado para la inoculación en vivero a gran escala.

Garrido (1986) indica que la incorporación de esporas se puede realizar en soluciones acuosas, incluso directamente en el sistema de irrigación del vivero. Otra forma es revolver este producto con las semillas un momento antes de la siembra

Castellano y Molina (1989) describe que las esporas secas o húmedas pueden ser guardadas en refrigeración a 4 °C, sin embargo, se recomienda utilizar esporas frescas y con una dosis de alta concentración. Generalmente, las esporas de los hongos cosechados pueden ser poco efectivas debido a la baja germinación o baja viabilidad, aunque se ha almacenado suspensión de esporas de diferentes especies del género *Rhizopogon* hasta por tres años, sin una reducción significativa en la efectividad de la inoculación.

c) Micorrización mediante micelios

Carrillo, (1991) manifiesta que el inóculo de micelio es el método más seguro y carente de riesgos de introducción de otros organismos no deseados, y el más efectivo y con el que se alcanza mayores porcentajes de micorrización controlada en un menor tiempo. No obstante, requiere cierto conocimiento respecto a los aspectos propios de crecimiento y desarrollo de los hongos utilizados, siendo además costoso y de mayor complejidad en el manejo.

- **Ventajas**

Carrillo, (1991) menciona que la utilización de inóculos tiene ventajas.

- ✚ Aumento de la resistencia de las plántulas a la sequía, a temperaturas del suelo y valores de pH extremos, a ataques de hongos patógenos, áfidos y nematodos
- ✚ Proporcionan hormonas estimulantes del crecimiento, como auxinas, citoquininas, giberelinas y vitamina B.
- ✚ Favorecer un crecimiento y longevidad mayor de las raíces.

- **Uso de micorrizas en árboles**

Estudios realizados por Vilar *et al.*, (2000), referentes a valores de colonización o infestación de micorrizas, indican que son componentes importantes para desarrollar modelos de agricultura sostenible y en especial en sistemas donde existe elevada fertilización de fósforo proveniente de fertilizantes solubles en suelos de bajo pH. Estos resultados concuerdan con los reportados por Colozzi (1997), quien evaluó el efecto de intercalar leguminosas en verano para abono verde, en la aparición de micorrizas en café y encontró incremento en la diversidad de especies de micorrizas, lo que a su vez estuvo relacionado con el incremento en la producción y la sostenibilidad del sistema de producción de café.

Infante (2003) reporta efectos benéficos en el establecimiento de plantaciones de Pino en Puerto Rico. En este país, el establecimiento de pinos por muchos años, fue una actividad difícil, debido a que los pinos no son nativos y la micorriza para esta especie en condiciones naturales se encontraba ausente en el suelo. Sin embargo, una vez inoculadas las plantas, estas sobrevivieron después de un año de establecidas mientras que las no inoculadas murieron.

Así mismo, Barrera *et al.*, (1999) evaluaron el efecto de la aplicación de micorrizas y de inóculos en el desarrollo de plántulas de Chacha fruto, *Erythrina edulis*, en etapa de vivero en cuanto a: tipo de micorriza y sustrato utilizado, la altura de la planta, el porcentaje de infección de raíces por la micorriza, el peso seco de la parte aérea de la planta y el peso de la raíz de la plántula. En todos los tratamientos, aún en el testigo (suelo cafetero) y en los que no se aplicó directamente inóculo, al momento de la evaluación estaban presentes géneros de micorrizas incluidos en la tabla 1.1, indicando éste, su alta presencia en los suelos donde se realizó la investigación, mostrando su

importante influencia en el desarrollo de las plantas. Además, se observó en relación con la altura, que los valores para todos los tratamientos no tuvieron variación significativa con respecto al testigo (suelo cafetero) (véase).

Tabla 1.1. Géneros de micorrizas presentes en los diferentes tratamientos

Tratamiento	<i>Acaulospora sp.</i>	<i>Glomus sp.</i>	<i>Gigaspora sp.</i>
Suelo cafetero	x	x	x
Suelo + gallinaza	x	x	-
Suelo + micorriza universidad "U"	x	x	x
Suelo + micorriza Sevilla "S"	x	x	x
Suelo + raíces de chachafruto	x	x	x
Suelo + gallinaza + micorriza "U"	x	x	x
Suelo + gallinaza + micorriza "S"	x	x	x
Suelo + gallinaza + raíces de chachafruto	x	x	-

Por otro lado, Infante (2003), cuantificó los niveles de infección micorrícica e identificó las especies de hongos micorrícicos más frecuentes asociadas con árboles de pijuayo (*Bactris gasipaes* H.B.K., especie potencial para utilizar en sistemas silvopastoriles) en sistemas de producción de cultivos arbóreos en multiestrato y en monocultivo, en suelos ultisoles en Yurimaguas, Perú. El nivel de infección micorrítica fue de 46% en suelos de textura arenoso franca y 80% en textura franco arenosa.

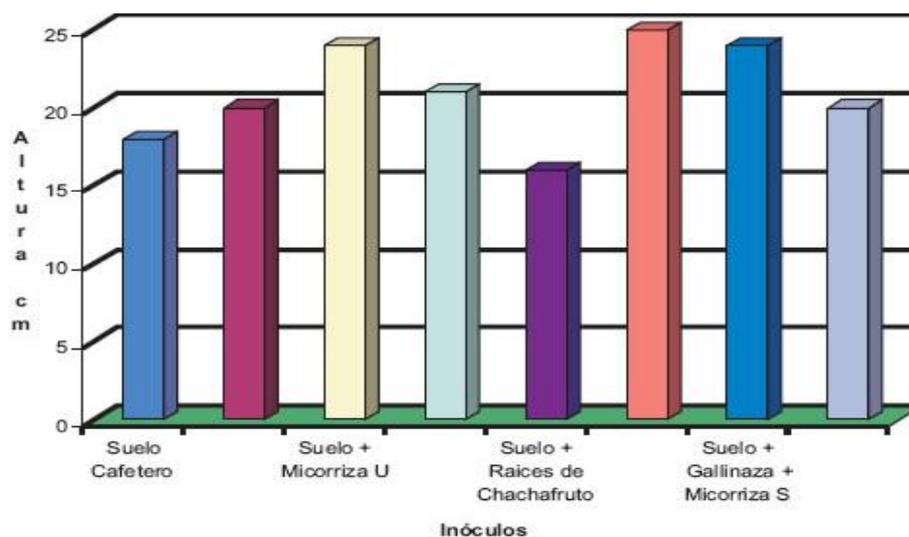


Figura 1.1. Efecto de la aplicación de micorrizas y de inóculos en la altura de la plántula del chachafruto (*Eritrina edulis*) en vivero.

Fuente: Barrera

Esta diferencia por la textura de estos suelos puede estar correlacionadas con la disponibilidad de fósforo en las parcelas (10.8 ppm en la areno-franca contra 4.8 ppm en la franco-arenosa), en el que es mayor en el suelo franco-arenoso por contener mayor cantidad de arcilla; las mismas tendencias con respecto a textura del suelo se observaron en parcelas de pijuayo en monocultivo, sin embargo, los niveles de infección micorrícica fueron más bajos.

Tabla 1.2. Efectos de la inoculación con micorrizas en *Bactris gasipaes* H.B.K. a los 5 y 8 meses después del transplante Yurimaguas, Perú.

	Numero de hojas (meses)		Altura de planta (meses)	
	5	8	5	8
Plantas * inoculadas	8	10	0.46	0.94
Plantas no inoculadas	7	8	0.31	0.74

* Promedio de 10 plantas

Fuente: Infante

La diversidad de especies de hongos micorrícicos fue diferente en los dos sistemas, la que puede estar influenciada por su composición florística, las especies del género *Glomus* predominan en pijuayo. En este trabajo se demostró el efecto benéfico de la inoculación con micorrizas en el crecimiento y en el contenido de nutrimentos en plántulas de pijuayo (Barea, 2003).

Tabla 1.3. Contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y manganeso en partes aéreas y raíces de plantas de *Bactris gasipaes* H.B.K. inoculadas (M⁺) y no inoculadas (M⁻) con micorrizas. Yurimaguas, Perú.

	N	P	K	Zn	Mn
	%	%	%	ppm	ppm
Parte aérea					
M ⁺	1.6+0.4	0.3+0.1	1.2+0.2	19.1+8.7	173+268.2
M ⁻	1.5+0.2	0.2+0.1	0.9+0.3	23.2+17.0	99+19.0
Raíces					
M ⁺	0.9+0.2	0.2+0.1	1.1+0.3	39.7+19.3	76+73.7
M ⁻	0.9+0.2	0.1+0.1	0.9+0.1	11.3+11.0	63+19.0

* Promedio de 10 plantas

Fuente: Infante

En otras investigaciones, Ramírez *et al.*, (2001) evaluaron los efectos de *Glomus fistulosum*, *Pseudomonas* fluorescentes y fosfato, sobre el crecimiento y la absorción de fósforo por *Leucaena leucocephala* sembrada en un suelo andisol. La inoculación con *G. fistulosum* incrementó el crecimiento de las plantas y la absorción de fósforo. Los efectos fueron mayores cuando se aplicaron conjuntamente *Pseudomonas* y *G. fistulosum*.

La absorción de fósforo estuvo significativamente correlacionada con la longitud de raíces, que a su vez fue significativamente afectada por la inoculación con *G. fistulosum*. En ausencia de *G. fistulosum* la aplicación de fósforo no incrementó significativamente su absorción por las plantas. En contraste, cuando este hongo micorrízico fue inoculado, hubo aumento significativo en la cantidad de fósforo absorbido, siendo este incremento mayor con contenido de 30 mg de fósforo por kg que con 15 mg de fósforo por kg.

Con el fin de investigar la actividad de las micorrizas en condiciones de vivero, Reyes (1998), evaluó el efecto de *Glomus* spp., bacterias, vermicomposta y un testigo en el desarrollo de plántulas de aguacate. Los sustratos fueron una mezcla de suelo agrícola y de arena de río (1:1 v/v) y uno referencia que era un suelo forestal; la evaluación del efecto se hizo a los 200 días después del trasplante. La altura y diámetro del tallo se favorecieron con los tratamientos de vermicomposta y la micorriza *Glomus*. La vermicomposta y la multicepa *Glomus* spp., promovieron mayor número de hojas, mayor superficie de área foliar y peso seco de la parte aérea con respecto al testigo. El resto de los tratamientos superaron o al menos igualaron la respuesta de las plantas que se desarrollaron en el tratamiento testigo, sin inoculación microbiana ni aplicación de materia orgánica (véase Tabla 1.4). En el caso de la fotosíntesis, se observó mayor actividad en los tratamientos que tuvieron la presencia de la micorriza y la bacteria, y la más baja en los tratamientos testigo y de referencia. La colonización de la raíz por estos microorganismos probablemente aumentó la actividad fotosintética de las plantas, debido a que pudo existir demanda extra de fotosintatos por parte de ellos. La altura de la planta fue favorecida con la vermicomposta, así como la inoculación de hongos micorrízicos en sus diferentes combinaciones, observándose diferencias con respecto al testigo y tratamiento-sustrato de referencia. Se observa que la bacteria sola o en combinación con la micorriza o vermicomposta no favorecen el desarrollo de la altura.

La vermicomposta y la micorriza actuando en forma aislada tuvieron un efecto mayor en la promoción de altura. En varias investigaciones se ha demostrado la eficiencia de los hongos micorrícicos del género *Glomus* en promover el desarrollo de plántulas.

Tabla 1.4. Características agronómicas y fisiológicas de plantas de palta raza mexicana (*Persea americana* Mill) a los 200 días del trasplante.

Tratamientos	Numero de hojas	Área foliar cm ²	Peso seco de parte área gramos	Fotosíntesis $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Conductancia estomática cm s ⁻¹
Micorriza (M)	46.3 a*	2414.4 ab*	30.0 ab*	18.73	0.1556
Bacteria (B)	36.7 ab	1550 c	20.9 b	11.02	0.1163
Vermicomposta (V)	47.2 a	2564 a	32.7 a	11.19	0.0765
M + B	45.7 a	2272 ab	27.5 ab	12.40	0.1464
M + V	44.4 a	2087 abc	26.6 ab	11.41	0.0985
B + V	44.1 ab	2057 abc	21.9 ab	12.81	0.1459
M + B + V	43.5 ab	2001 abc	23.6 ab	11.00	0.0986
Testigo	38.4 ab	2010 abc	25.8 ab	4.712	0.0517
Trat. Referencia (Suelo forestal)	34.2 b	1643 abc	19.1 b	4.269	0.1066

Fuente: Reyes

Valores con la misma letra en la misma columna son estadísticamente igual (Tukey ≤ 0.05)

Con respecto a la fertilización con fósforo, Rodríguez *et al.*, (2002) y Ramírez *et al.*, (2001), encontraron efecto positivo en la actividad de la micorriza y en el crecimiento de las plantas. Estos autores encontraron respuesta de la *Leucaena* a la inoculación micorrizal, aún con niveles altos de fósforo en la solución del suelo.

A pesar de los reportes del efecto positivo del fósforo en la actividad de las micorrizas algunos autores indican un efecto contradictorio. Rodríguez (2002) reporta que la micorrización es generalmente inhibida en suelos con un alto contenido en fósforo.

Manejo de la micorrización controlada y factores que la afectan

La primera etapa en un programa de inoculación de MA o ectomicorrizas para usar en agricultura o silvicultura depende de la inoculación más apropiada. En este sentido, la principal opción es el manejo de las poblaciones nativas (Dood *et. al.* 994). Para la obtención de los MA a utilizar, se han desarrollado diversas metodologías tendientes al entendimiento de la ecología y funcionamiento de esta asociación simbiótica, incluye el

aislamiento de esporas a partir de suelo, la tinción diferencial de raíces para evidenciar la colonización y metodologías moleculares para la identificación y taxonomía (Corredor, 2003).

La micorrización controlada en viveros es una operación hoy en día necesaria para obtener buenos resultados, y para que un programa sea eficaz se necesita utilizar hongos que sean competitivos tanto en vivero, como en el campo. Se ha demostrado la efectividad de la inoculación con micorrizas en numerosos cultivos y regiones (Sempere, 2001).

El factor a tener en cuenta es definir las cepas micorrícicas nativas para las inoculaciones de cada especie o cepa, donde se tiene limitaciones ecológicas en las que el comportamiento es el más efectivo, en términos de crecimiento de su hospedante. Si esto no se tiene en cuenta es posible que el hongo inoculado en el vivero sea desplazado en el campo por otros hongos más adaptados al medio (Carrillo *et al.*, 1992). Para una buena evaluación, es básico realizar un muestreo que sea representativo. El mismo debe hacerse a una profundidad entre 0 y 20 cm en forma de «X» o «W». Las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo seleccionados se deben mezclar y homogenizar completamente y pasadas por un tamiz de 2mm, en la metodología empleada para el estudio de MA, recomienda que la muestra debe secarse a temperatura ambiente hasta obtener el mínimo de humedad, donde posteriormente se toman entre 10 y 100 gr de suelo, según las necesidades de lo que se quiere conocer y se realiza el aislamiento de las esporas presentes siguiendo la metodología de tamizaje y centrifugación en gradiente de sacarosa (Corredor, 2003).

De acuerdo a la literatura revisada, lo más importante en el método seleccionado, es estandarizar el procedimiento a las condiciones ambientales donde se va a realizar el trabajo de investigación. Además, como en nuestro medio limitante las estructuras que son transitorias y algunos tejidos presentan dificultades (clareo y tinción), así la posibilidad para identificar taxonómicamente es limitada (Corredor *et al.*, 2003).

El potencial de uso de las micorrizas ha sido relacionado principalmente con cultivos que llevan fase de trasplante como práctica habitual, como acontece en horticultura, fruticultura, programas de reforestación, pero no se recomienda para cultivos arables

debido a que los hongos micorrizógenos, no pueden completar su ciclo de vida salvo asociados con la planta con la que forman una mezcla de estructuras del hongo con el sustrato de crecimiento y restos de raíces, esto hace que los inóculos estén muy asociados al suelo y tengan una participación importante en el proceso (Miyasaka, 2003).

La efectividad de la inoculación dependerá del balance de factores ecofisiológicos en el sistema planta-suelo, lo cual significa que un mismo inóculo puede desencadenar efectos muy variados sobre un cultivo, dependiendo del tipo de manejo agronómico que se realice. Por lo tanto, no se puede generalizar el efecto de un tipo de micorrizas sobre todos los árboles ni sobre todos los ecosistemas. Sin embargo, es importante determinar la aplicación del inóculo el cual puede realizarse directamente sobre la planta de una forma homogénea aprovechando el agua de riego. La época de tratamiento suele ser al momento de la siembra o la germinación. La dosis de aplicación puede variar según la especie de hospedante, siendo un valor medio 10^7 esporas por planta; de acuerdo a consulta a expertos en nuestro medio se recomienda 100 a 150 gr por árbol con una densidad de 50 esporas/gr; se espera que los efectos de la micorrización se empiecen a ver a los cinco o seis meses de la germinación.

Según Habte (2001), para determinar la efectividad de la micorriza aplicada se debe determinar y cuantificar la colonización del hongo micorrícico en las raíces y determinar las características del mismo, lo cual se puede visualizar bajo un estereoscopio (40x) por el método de intercepto de líneas cuadráticas, después de que las raíces han sido lavadas (al eliminar los materiales nucleares y citoplasmático), acidificadas y tinturadas en vías específicas.

Consideraciones finales

De acuerdo a la información recopilada, las MA constituyen una alternativa valiosa para disminuir el tiempo de entrada de animales a pastoreo al reducir el tiempo de establecimiento de árboles para los sistemas silvopastoriles. Así mismo, su uso implica una menor aplicación de fertilizantes, riego y pesticidas, lo que permite un sistema de producción más rápido, limpio y eficiente, que aumenta la sostenibilidad de los cultivos, convirtiéndose en una estrategia válida para entregar a los agricultores.

En Colombia las micorrizas tienen un gran potencial para contribuir a la solución de múltiples problemas de la agricultura, por las amplias ventajas que ofrecen para condiciones tropicales. Sin embargo, se debe tener en cuenta que existe una multitud de hongos y una dinámica natural del desarrollo de estas micorrizas. Sus efectos no son iguales en todos los árboles ni en todas las condiciones agroclimáticas, debido a las interacciones que se presentan y al tipo de micorriza que actúa.

Es importante resaltar la necesidad de profundizar en la investigación sobre el uso de micorrizas nativas o del sitio, lo que implica conocer más sobre la especificidad hongo-planta, buscando aislar cepas específicas que permitan potencializar el crecimiento y productividad de los árboles en determinados agroecosistemas y evaluar las interacciones que se generan.

1.2.4. Vivero

Solano (2013) define como lugar destinado a la obtención, con el mejor rendimiento posible, de plántulas de óptima calidad y capaces de soportar satisfactoriamente las condiciones impuestas en la post-plantación.

SERFOR (2014) menciona que los viveros forestales son sitios especialmente dedicados a la producción de plántulas de la mejor calidad y al menor costo posible

- **Tipos de vivero**

Según SERFOR (2014) los viveros se clasifican de la siguiente manera:

- a) **Los viveros permanentes.** Son aquellos viveros cuya instalación se realiza con materiales duraderos, infraestructura de cemento, acabados con madera cuyas propiedades tecnológicas aseguran su durabilidad, disponen de ciertas infraestructuras que le caracterizan, como oficinas, almacenes, tanques elevados, sistema de riego, contando asimismo de equipos costosos, como bombas de agua, instalación que garantiza su uso para muchas campañas de producción de plántulas, generalmente estos son construidos por institutos de investigación, en programas de desarrollo a mediano y largo plazo y por empresas dedicadas a la venta de plántulas.

b) **Los temporales.** Usualmente contruidos por las familias, cuya infraestructura es bastante simple, se utilizan materiales del bosque, como madera redonda, hojas de palmera para producir el tinglado o techo de las camas de almacigo y repiques, para que produzcan sombra o protección contra la luz solar a las semillas almacigadas o plántones repicados, soga de monte para los amarres, todos estos materiales tienen una duración por un periodo de tiempo corto, pero lo suficiente para que cumpla con su objetivo de producir plántones para una o dos campañas de reforestación.

Según Solano (2013) clasifica los viveros de la siguiente manera:

a) **Según su finalidad**

- Vivero de producción
- Vivero de investigación

b) **Según su producción:**

- Ornamentales
- Forestales
- Frutícolas

c) **Según su duración:**

- Viveros permanentes
- Viveros temporales o volantes

d) **Según su ubicación**

- Centralizados
- Regionales
- Descentralizados

• **Importancia de un vivero forestal**

Según SERFOR (2014) el establecer un vivero forestal puede producir muchos beneficios, entre ellos:

- Se evita depender de otros
- Los costos de producción son bajos
- Los arbolitos sufren menos daños al plantarlos cerca del lugar de producción

- Producen especies deseadas
- Se produce la cantidad deseada
- Se controla la calidad del material a plantar
- Es un negocio muy rentable si está bien planificado
- Se contribuye a mejorar el ambiente con los programas de reforestación

- **Selección y establecimiento de un vivero forestal**

Ubicación del área para la instalación

SERFOR (2014) señala que se debe buscar un sitio de fácil acceso y con una ubicación excelente. Se requiere un sitio cercano a carreteras, seguro, donde no roben, que tenga vigilancia, cercano a casas, donde puedan entrar vehículos; preferiblemente que no requiera de mejoras en caminos. El área donde se instalará el vivero, debe presentar las siguientes características:

- Contar con agua en forma permanente, ya que el agua es un elemento utilizado durante todo el proceso de producción de plántones, disponer de agua principalmente en el periodo seco o de escasa precipitación y de calidad, es decir, lo menos contaminada posible de agentes patógenos y residuos de productos químicos de uso agropecuario.
- El terreno debe contar con una superficie plana ligeramente inclinada, con pendiente no más de 3%, con la finalidad de lograr el escurrimiento de las aguas de lluvia y evitar la formación de charcos durante estas, pendientes fuertes originan dificultad e incomodidad para la realización de las actividades.
- El vivero debe ser accesible, debe ser protegida de los animales, con el fin de evitar daños a las semillas almacenadas y/o plántones repicados. Generalmente es imposible reunir todas las condiciones, por lo que se debe realizar un balance de las ventajas y desventajas para elegir los factores determinantes.

Tamaño del vivero forestal

SERFOR (2014) resalta que el tamaño del vivero está determinado básicamente por dos aspectos, la cantidad de plántones a producir y el tamaño de bolsas a emplear. Para las camas de producción, de preferencia se utiliza una medida de 1.20 m de ancho x 5 m de largo para una cantidad de 1000 plántones forestales en bolsa.

Diseño y plano del vivero

Vicamiche (1993) menciona que el diseño y plano del vivero es una fase importante en su establecimiento, sobre todo cuando es permanente. Su eficiencia y su funcionalidad dependen en parte del mismo. En general un vivero consta de tres partes principales:

- **Área de germinación**, llamado también almaciguera o semillero.
- **Área de crecimiento**, camas de repique y platabandas para la producción de planta raíz desnuda.
- **Otros elementos**, caminos senderos, etc.

Preparación del sitio

Vicamiche (1993) manifiesta que una vez que se ha elegido el sitio para el vivero, se procede a la preparación del terreno, preparar el lugar del vivero, eliminando toda la vegetación (malezas). La propagación de las malezas se evita removiendo la capa superficial del suelo. También de ser posible se poda los árboles aledaños que puede dar sombra a la cama.

En el siguiente caso nivelar el terreno utilizando herramientas y maquinarias dependiendo del tamaño del terreno. Elegir un lugar con pendiente adecuado de 2 – 3%, dicha característica para instalar la producción de plántones en bolsa.

Para la protección de vientos fuertes y las heladas debe haber la presencia de árboles rompivientos con mayor densidad hacia la dirección de donde sopla el viento y caída de heladas.

El sistema de drenaje puede ser sencillo, evitando simplemente la formación de charcos que duren más que algunas horas después de aguacero, en este caso se necesita construir un canal de drenaje en la parte superior para captar las aguas que escurren superficialmente. Para reducir la escorrentía en los caminos, se pueden construir en los mismos y a intervalos regulares, presas de piedra o material leñoso para poder disminuir la velocidad de agua.

Almácigos

Vicamiche (1993) señala que en la sierra se acostumbra sembrar la semilla en almácigos a nivel del suelo, para mejorar el drenaje y la aireación se eleva unos 10 a 15 cm. partiendo del hecho de que en los viveros forestales de la zona andina del Perú es

común regar por inundación, tal fin se recomienda que las camas de repique tengan un metro de ancho por diez de largo.

Rivera (1993) menciona que es el lugar donde se pone las semillas para la germinación, se trata del sitio de más cuidados culturales relacionados a protección y atención. La desinfección de los almácigos es una tarea ineludible; en casi todos los viveros, pues luego de comenzados la germinación, se produce una etapa crítica en la que puede ser afectados por la “enfermedad de los almácigos”, llamada en el Perú “chupadera fungosa”.

Camas de repique

Vilcamiche (1993) manifiesta que las camas de repique tienen las mismas dimensiones 1m y 10 m de ancho y largo que las almacigueras, y si el terreno lo permite, también se los orienta de este a oeste, la anchura de un metro facilita muchas labores, como el riego con regaderas, el repique y deshierbo.

Tinglado

Araujo y otros (2000) refieren que el tinglado se puede fabricar con materiales del lugar, es decir, ramas de retama, eucalipto, pasto seco, carrizos, esteras. También se puede utilizar otros materiales como sacos de polietileno, es decir mencionar que el tinglado podrá retirarse definitivamente después que las plantas lleguen a tener 6 hojas.

Para proteger las plantas de las heladas se acostumbra a poner tinglado desde el atardecer y quitarlo en la mañana siguiente. Una forma práctica de hacerlo es construyendo un tinglado que se puede enrollar.

Los diagramas de caja

Según Calzada (1980) los diagramas de caja son una forma útil de graficar datos divididos en cuatro cuartiles, cada uno con igual cantidad de valores. El diagrama de caja no grafica frecuencia ni muestra las estadísticas individuales, pero en ellos podemos ver claramente dónde se encuentra la mitad de los datos. Una gráfica de este tipo consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde

se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero (recordemos que el segundo cuartil coincide con la mediana).

Esta caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes. Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN DEL VIVERO

El presente proyecto se ejecutó en el vivero de Alta tecnología de AGRORUAL, ubicado en el Instituto de Investigación e Innovación Agraria (INIA) en el sector Canaán, distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia de Huamanga, Región Ayacucho. Se encuentra a una altura de 2761 msnm. Cuya coordenada geográfica es la siguiente;

- Latitud sur : 13° 09' 27.9''
- Latitud oeste : 74° 14' 53.33''

Y bajo el sistema de posición global (GPS) es:

- 18L 0585875
- UTM 8544162

Límites del distrito, tiene los siguientes límites:

- Por el norte con el distrito de Jesús Nazareno
- Por el sur con el distrito de San Juan Bautista
- Por el este con el distrito de Tambillo
- Por el oeste con el distrito de Ayacucho

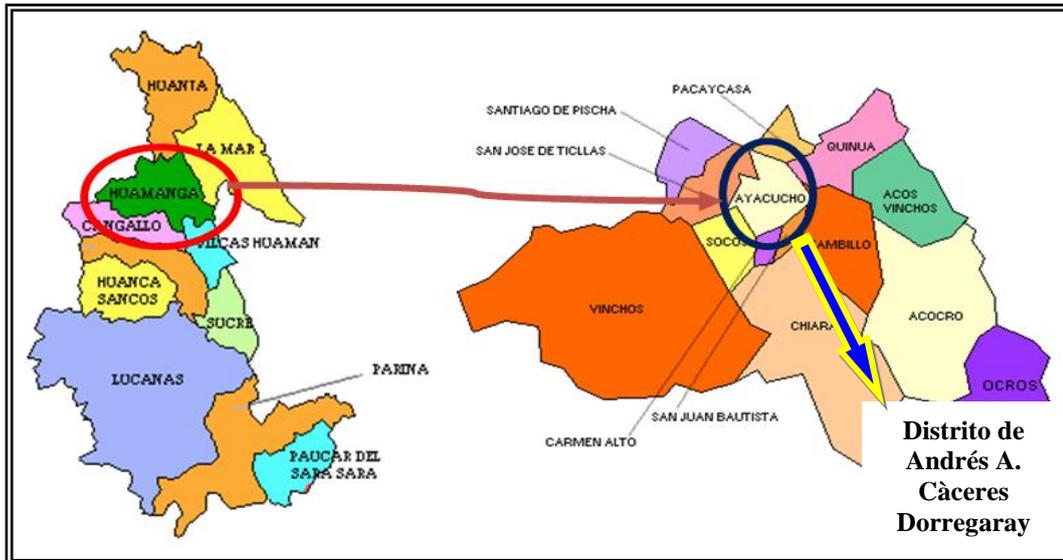


Figura 2.1. Ubicación del Distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray



Figura 2.2. Vivero de AGRORURAL, Distrito de Andrés A. Cáceres Dorregaray, Ayacucho.

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL VIVERO FORESTAL

El vivero forestal de alta tecnología Canaán Bajo es de tipo túnel, ocupa un área de 2 ha. y se encuentra cerca de las instalaciones del Instituto Nacional de Investigación Agraria Canaán-Ayacucho (INIIA-AYACUCHO)

Tiene una capacidad de producción de un millón de plántulas por campaña, cuenta con 2 túneles para bandejas con almácigo, germinación de las semillas y el crecimiento inicial de las plántulas. Los túneles tienen soporte de arcos metálicos cubierto con una malla Rashell de 50% de sombra para el control de la luminosidad y plástico transparente UV para el control de la humedad y temperatura dentro del túnel. El

proceso de germinación y crecimiento inicial se realiza bajo sombra. El riego tecnificado se suministra por micro – aspersión. Consta de 15 túneles de producción, una oficina, un almacén y centro de abastecimiento de agua para riego y la fertilización de plántones. Se utilizaron 8 bandejas y un total de 800 tubetes.

2.3. MATERIALES Y HERRAMIENTAS

Insumos

- Tierra negra, arena, suelo agrícola.
- Suelo micorrizado de los pinares de Tambo-La Mar.
- Semilla de dos especies de pino
- Vitavax
- Formol
- Cloro

Herramientas

- Pala
- Zaranda
- Regadera
- hoyador
- Mochila fumigadora
- Tubetes T53 de 3.4 cm y 12.5 cm, con capacidad de 53 cm³
- Portatubetes BP 187
- Invernadero tipo túnel
- Carretilla

En la evaluación

- Regla graduada y vernier
- Balanza de precisión y estufa
- Microscopio eléctrico y lupa
- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo, lápiz, lapicero y plumón de tinta indeleble
- Engrapador y grapas
- Tijera de podar

2.4. FACTORES DE ESTUDIO

Especie (E): Dos especies de pino:

- E_1 : *Pinus radiata*
- E_2 : *Pinus patula*

Tipos de inóculo de micorrizas (I): Dos tipos de inóculo de micorrizas

- I_1 : Inoculo de micorriza comercial
- I_2 : Inoculo de suelo micorrizado de los pinares de Tambo – La Mar

Niveles de Inóculo (N)

Nivel de micorriza comercial

- N_1 : 0 gr/ tubete
- N_2 : 1gr/tubete
- N_3 : 2 gr/tubete
- N_4 : 3 gr/tubete
- N_5 : 4 gr/tubete

Nivel de suelo micorrizado (bosque de pino de Tambo-La Mar)

- N_1 :0g/tubete
- N_2 :2g/tubete
- N_3 :4g/tubete
- N_4 :6g/tubete
- N_5 :8 g/tubete

Tabla 2.1. Tratamientos

TRATAMIENTO	CLAVE	NIVEL DE MICORRIZA	ESPECIE	TIPO DE INÓCULO
T ₁	E ₁ I ₁ N ₁	0 gr	<i>P. radiata</i>	micorriza comercial
T ₂	E ₁ I ₁ N ₂	1 gr	<i>P. radiata</i>	micorriza comercial
T ₃	E ₁ I ₁ N ₃	2 gr	<i>P. radiata</i>	micorriza comercial
T ₄	E ₁ I ₁ N ₄	3 gr	<i>P. radiata</i>	micorriza comercial
T ₅	E ₁ I ₁ N ₅	4 gr	<i>P. radiata</i>	micorriza comercial
T ₆	E ₁ I ₂ N ₁	0 gr	<i>P. radiata</i>	suelo micorrizado
T ₇	E ₁ I ₂ N ₂	2 gr	<i>P. radiata</i>	suelo micorrizado
T ₈	E ₁ I ₂ N ₃	4gr	<i>P. radiata</i>	suelo micorrizado
T ₉	E ₁ I ₂ N ₄	6 gr	<i>P. radiata</i>	suelo micorrizado
T ₁₀	E ₁ I ₂ N ₅	8 gr	<i>P. radiata</i>	suelo micorrizado
T ₁₁	E ₂ I ₁ N ₁	0 gr	<i>P. patula</i>	micorriza comercial
T ₁₂	E ₂ I ₁ N ₂	1 gr	<i>P. patula</i>	micorriza comercial
T ₁₃	E ₂ I ₁ N ₃	2 gr	<i>P. patula</i>	micorriza comercial
T ₁₄	E ₂ I ₁ N ₄	3 gr	<i>P. patula</i>	micorriza comercial
T ₁₅	E ₂ I ₁ N ₅	4 gr	<i>P. patula</i>	micorriza comercial
T ₁₆	E ₂ I ₂ N ₁	0 gr	<i>P. patula</i>	suelo micorrizado
T ₁₇	E ₂ I ₂ N ₂	2gr	<i>P. patula</i>	suelo micorrizado
T ₁₈	E ₂ I ₂ N ₃	4 gr	<i>P. patula</i>	suelo micorrizado
T ₁₉	E ₂ I ₂ N ₄	6 gr	<i>P. patula</i>	suelo micorrizado
T ₂₀	E ₂ I ₂ N ₅	8 gr	<i>P. patula</i>	suelo micorrizado

FV	GL	Valor
Especie	a-1	1
Inoculo	b-1	1
Niveles(E *I)	c-1 (ab)	16
E*I	(a-1)(b-1)	1
error	error (r-1)(abc)	60
Total	rabc-1	79

2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental utilizado fue el Diseño Completo Randomizado (DCR), con 20 tratamientos y cuatro repeticiones de 10 unidades experimentales cada uno. Los tratamientos son resultado de: 02 especies de pino, 02 tipos de inóculo de micorrizas y 5 niveles de inóculo de micorrizas; estos niveles por no tener las proporciones iguales por cada inoculo hacen 05 niveles para suelo micorrizado y 05 niveles para micorriza comercial, están anidados dentro de la interacción especie por inoculo. Los datos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA) dentro del diseño anidado, además se evaluaron las tendencias de las variables en estudio.

2.6. INSTALACIÓN Y DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

Instalación

La instalación se realizó el 01 de marzo en tubetes para pino modelo (T₅₃), diámetro superior 1.2 cm x 12.5 cm, capacidad 53 cm³ de sustrato, peso de 9-10 gr, con abertura en el extremo inferior para el drenaje de agua. La siembra se realizó de manera directa en los tubetes. Luego las bandejas fueron ubicadas en el área de germinación posteriormente en el área de crecimiento y desarrollo del vivero.

Desinfección de semillas

La desinfección de 1 kg semilla de pino previamente remojada se realizó con 10 gr de vitavax.

Preparación del sustrato

El 29 de marzo 2017 se realizó el zarandeo de tierra negra, suelo agrícola y arena, para evitar el ingreso de desechos, el sustrato estuvo compuesto de arena 20%, tierra negra 30% y suelo agrícola 50 %.

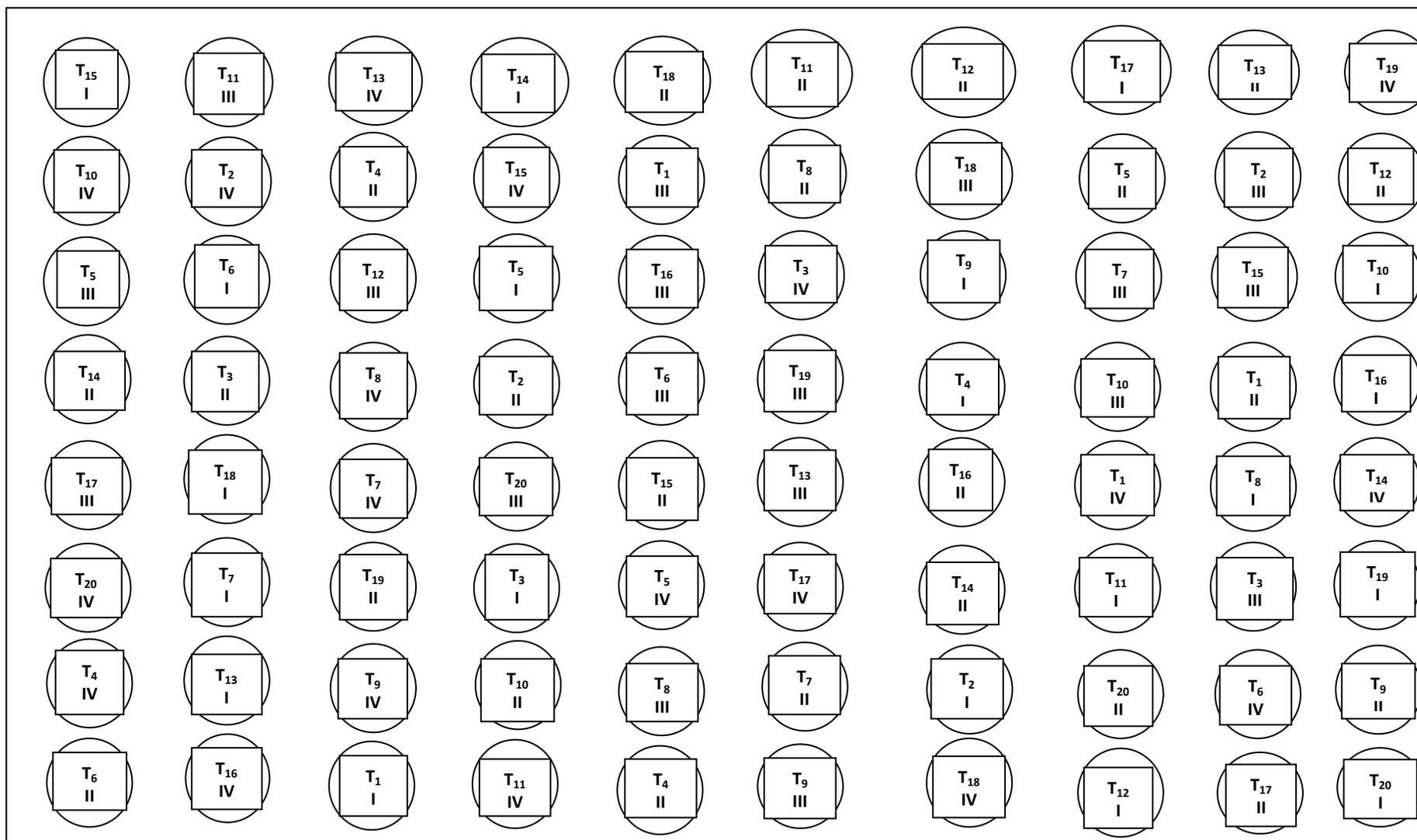


Figura 2.3. Croquis de la parcela experimental

Desinfección del sustrato

Se aplicó cloro a razón de 200ml /15 litros de agua para luego cubrir con plástico herméticamente durante 48 horas y posteriormente se dejó airear por 48 horas previo al llenado en los tubetes.

Desinfección de bandejas y tubetes

La desinfección de bandejas y tubetes se realizó con clorox a razón de 50ml/15lt de agua antes de su uso.

Llenado del sustrato

Se realizó el llenado de tubetes procurando no compactar demasiado y con ayuda de un hoyador se abrió un hoyo en la parte central para depositar el inóculo de micorriza comercial y suelo micorrizado.

Siembra

La semilla se depositó en el hoyo de cada tubete y luego se cubrió con el mismo sustrato y se regó con una regadera hasta capacidad de campo.

Labores culturales

Riego

El riego se realizó según requerimiento, y será de manera presurizada ya que el vivero cuenta con riego por aspersión.

Deshierbo

Se realizó con sumo cuidado cada vez que se presenciaba las malezas para evitar la competencia por agua, luz y nutriente con los plántones.

Control fitosanitario

La desinfección de la semilla se realizó con vitavax donde 10kg de semilla fue tratada con 10gr de vitavax, a los 45 días de la siembra se utilizó fungicida del nombre “parachupadera” en razón 30gr/15 lt de agua para evitar la chupadera fungosa, también el túnel fue desinfectado con cal agrícola, durante el crecimiento se aplicó en dos oportunidades fulicur 15ml/15lt agua para controlar la presencia de chupadera.

Evaluación de plantones

La evaluación de plantones se realizó cada mes para evitar el crecimiento de raíces fuera de los tubetes y para conocer el crecimiento y desarrollo.

2.7. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

- Altura de plantón, con la ayuda de una regla graduada en cm se midió desde el cuello de la planta hasta el ápice, siendo evaluado cada mes.
- Diámetro de tallo, con la ayuda del vernier se midió en la parte media de tallo, en forma mensual.
- Peso seco total del plantón, se determinó al final del experimento, para ello se extrajo las plantas de su respectivo tubete, se trozó y se colocó en la estufa a 50°C por espacio de 24 horas al cabo del cual se pesó en una balanza eléctrica. La evaluación fue realizada en el laboratorio de agrobiología.
- Al igual que el anterior parámetro, con ayuda de una regla graduada en cm se midió desde el cuello hasta el ápice de la raíz, para lo cual se realizó una limpieza previa con agua y para calcular el peso seco de raíz, se trozó y se sometió a la estufa a 50°C por espacio de 24 horas al cabo del cual se pesó en una balanza eléctrica.
- La evaluación del número de micorrizas, se realizó luego de separar de su respectivo tubete, para lo cual se realizó la limpieza de la raíz con abundante agua, para luego con ayuda de una lupa se procedió al conteo de micorrizas.
- Sanidad (enfermedades y plagas). Se evaluó periódicamente para prevenir el ataque de plagas y enfermedades.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ALTURA DE PLANTAS DE PINOS

Tabla 3.1. Análisis de variancia de la altura de plantas de pino. AGRORURAL, Ayacucho
2761 msnm

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	154.679	154.679	179.18	<.0001 **
Inoculo (I)	1	28.680	28.680	33.22	<.0001 **
E * I	1	7.188	7.188	8.33	0.0054 **
Niveles (E*I)	16	227.660	14.229	16.48	<.0001 **
Error	60	51.796	0.8632		
Total	79	480.003			

C.V. = 4.4%

La tabla 3.1 muestra el análisis de variancia de la altura de plantas de pino donde se observa una alta significación estadística en las dos especies de pino, también en inóculos, en la interacción de primer orden y en los diferentes niveles anidado dentro de especies con inoculo. Por tanto, el estudio se centra en esta fuente de variación.

Asimismo, el coeficiente de variación presenta 4.4 % lo cual indica un valor de buena precisión para el presente trabajo.

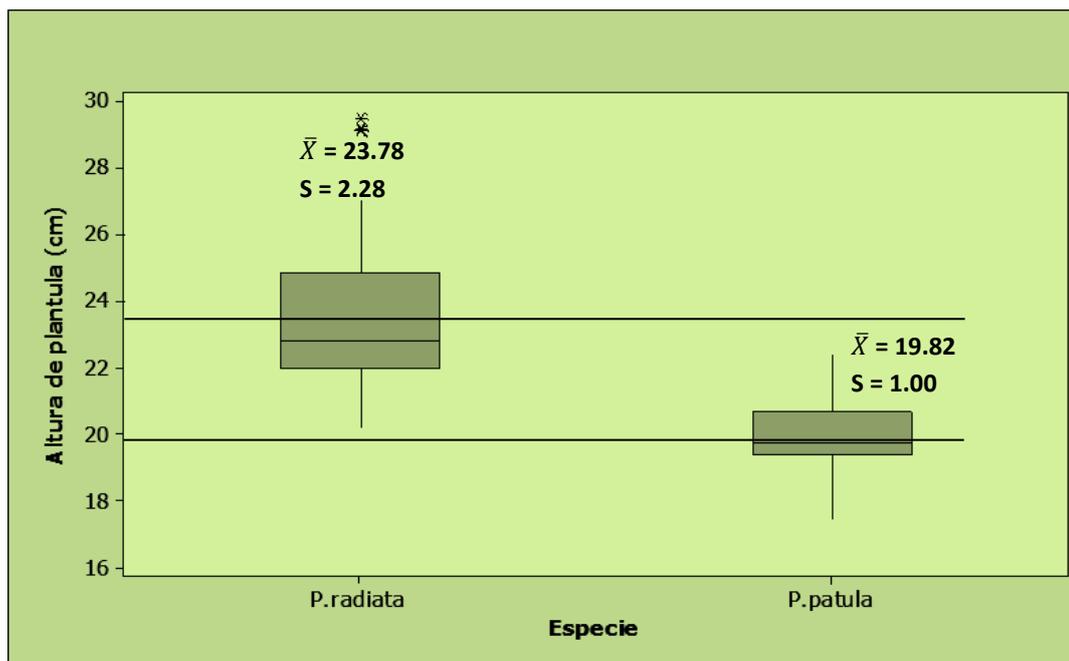


Figura 3.1. Diagrama de caja de la altura de planta entre los *Pinus radiata* y *P. patula* AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de caja de la altura del planta, donde se observa que el promedio de altura de los plantones de *Pinus radiata* es 23.78 cm estadísticamente superior a *Pinus patula* que sólo alcanza en promedio 19.82 cm de altura; además, se observa la gran variabilidad del *P. radiata*, inclusive, muestra valores fuera de la variabilidad normal, alcanzando 29.4 cm. mientras que en el *P. patula* la variabilidad es muy reducida, de ahí que la caja se muestra pequeña en comparación con la del *P. radiata*.

3.1.1. Altura de planta en *Pinus radiata*

En la figura 3.2 se muestra la tendencia de la altura de planta en función de los niveles de los dos tipos de inóculo en *P. radiata* donde se observa una tendencia lineal positiva en ambos tipos de inóculo y respecto a los niveles se observa que a mayor cantidad de micorriza se incrementa la altura de la planta, razón por la cual, con 4 g de micorriza comercial (mayor nivel) se obtiene una altura de 23.87 cm y con 8 g de suelo micorrizado se obtiene con 28.39 cm de altura del plantón.

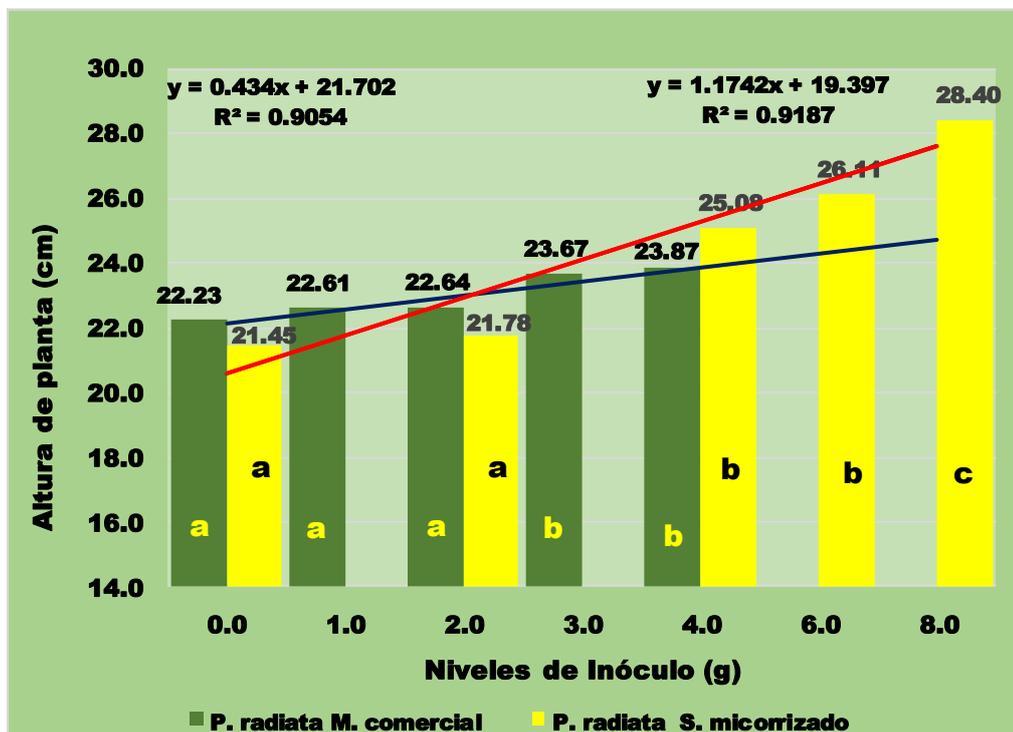


Figura 3.2. Tendencia de la altura de planta en función de los niveles y tipos de inóculo en *P. radiata*. AGRORURAI, Ayacucho 2761 msnm.

Además, se observa que el *P. radiata* tiene una mayor y mejor respuesta que el *P. patula* con ambos tipos de inóculos. Estos resultados pueden deberse al carácter genético de la especie que aprovecha mejor las condiciones de fertilidad del sustrato. Sin embargo, se puede decir que ambas especies de pinos responden mejor a mayor nivel de micorrizas tal como menciona Raddatz (2002), quien reporta que los hongos producen hormonas estimulantes que ayudan el crecimiento y desarrollo de las plantas, aunque Miyasaka (2001) manifiesta que resulta extremadamente difícil diferenciar los efectos producidos por las hormonas del hongo, de los producidos por hormonas vegetales y de los producidos indirectamente por el estado nutricional de las plantas como consecuencia de la micorrización.

Asimismo, Carrillo (1992) indica que es un método de bajo costo, en muchas ocasiones, ha entregado buenos resultados de inoculación con los hongos micorrícicos presentes en el suelo, permitiendo incrementos en el crecimiento de las plantas, junto con una mayor protección a patógenos del suelo.

Del mismo modo Infante (2003) demostró el efecto benéfico de la inoculación con micorrizas en el crecimiento y en el contenido de nutrimentos en plántulas de pijuayo. En cambio, Barea, M. (2003) en un trabajo de incorporación de micorrizas en producción de plantas de *Erythrina edulis* en vivero, mostró su importante influencia en el desarrollo de las plantas (peso seco de tallo y raíz), sin embargo, observo en relación con la altura de planta, que los valores para todos los tratamientos no tuvieron variación significativa con respecto al testigo.

3.1.2. Altura de planta de *Pinus patula*

En la figura 3.3 se presenta la tendencia de la altura de planta en función de los niveles y tipos de inóculo en *Pinus patula* donde se observa la tendencia de crecimiento lineal positiva para la micorriza comercial, es decir, a medida que se incrementa el nivel de micorriza aumenta el tamaño del plantón hasta alcanzar 20.75 cm de altura cuando se adiciona 4 g de micorriza comercial. En tanto, se utiliza el suelo micorrizado la tendencia de crecimiento es cuadrática negativa, es decir, que a menor y mayor niveles de suelo micorrizado se obtienen mayores alturas.

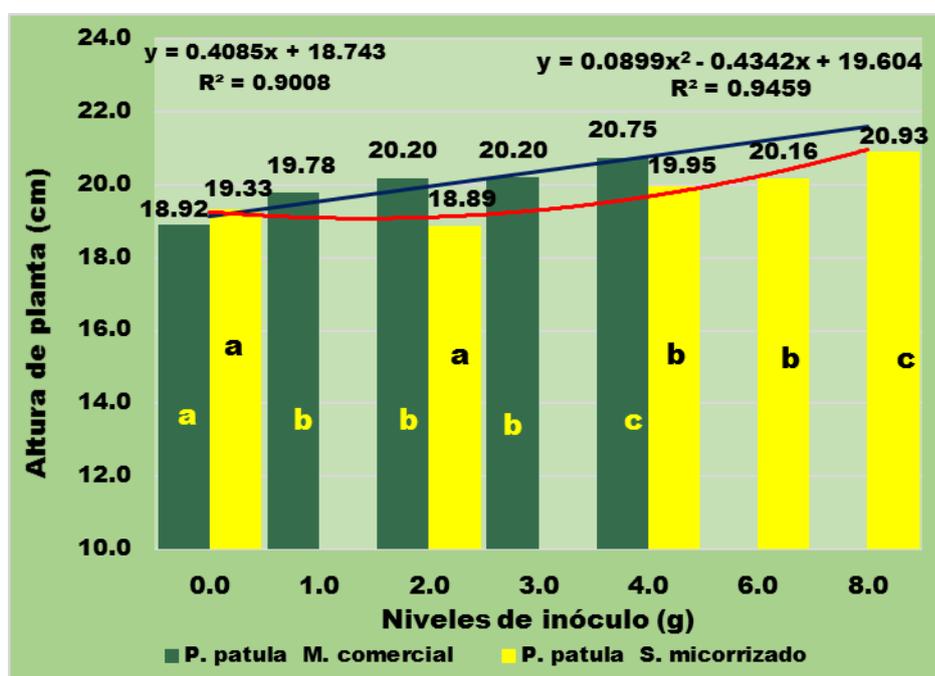


Figura 3.3. Tendencia de la altura de planta en función de los niveles y tipos de inóculo en *Pinus patula*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

Tal es así, que el testigo alcanzó 19.33 cm mientras que con 8 g de suelo micorrizado el plantón alcanza 20.93 cm de altura, en tanto que los niveles intermedios alcanzaron un promedio de 19.4 cm de altura.

3.2. DIÁMETRO DE TALLO

La tabla 3.2 muestra el análisis de variancia del diámetro de tallo de pinos, donde se observa una alta significación estadística entre especies y entre inóculos, pero también en la interacción especie por inóculo y finalmente en los diferentes niveles anidado dentro de especies con inóculos, por lo tanto, el estudio se centra en esta fuente de variación. Además, podemos señalar que el coeficiente de variación de 4.8 % indica un valor de buena precisión que nos permite confiar en los resultados.

Tabla 3.2. Análisis de variancia del diámetro de tallo de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	28.096	28.096	1447.61	<.0001 **
Inoculo (I)	1	0.298	0.2989	15.40	0.0002 **
E * I	1	0.090	0.0904	4.66	0.0349 *
Niveles (E*I)	16	1.691	0.1056	5.45	<.0001 **
Error	60	1.164	0.0194		
Total	79	31.3411			

C.V. = 4.8 %

3.2.1. Diámetro de tallo en *Pinus radiata*

En la figura 3.4 se muestra la tendencia del diámetro de tallo de *Pinus radiata*, por efecto de los tipos de inóculos en los diferentes niveles en donde se observa 3.99 mm de diámetro de tallo del *P. radiata* cuando se utiliza 8 g de suelo micorrizado en comparación a la micorriza comercial que con 4 g alcanza solo 3.53 mm de diámetro.

Además, se observa que cuando se usa micorriza comercial la tendencia de crecimiento del diámetro de tallo de *P. radiata* es lineal, es decir a mayor nivel se incrementa el diámetro de tallo mientras que con suelo micorrizado la tendencia es cuadrática inversa.

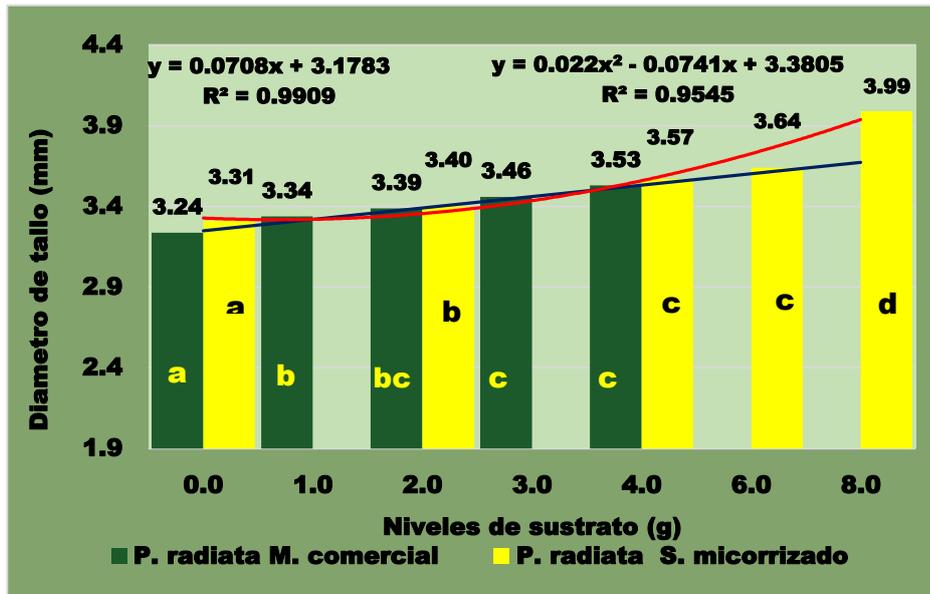


Figura 3.4. Tendencia del diámetro de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

3.2.2. Diámetro de tallo en *Pinus patula*

En la figura 3.5 se muestra la respuesta del pino patula con ambos inóculos y en sus diferentes niveles en el diámetro del tallo. Se observa que el uso del inóculo suelo micorrizado genera un mayor diámetro (2.50 mm) respecto al uso de micorriza comercial. En cuanto a las tendencias de crecimiento de diámetro de tallo se observa una tendencia cuadrática cuando se utiliza el inoculo micorriza comercial. Al realizar cálculos a partir de la ecuación (ver anexo 1) se determinó el nivel de inóculo micorriza comercial (4.43 g) que maximiza el diámetro de tallo del plantón de *Pinus patula*.

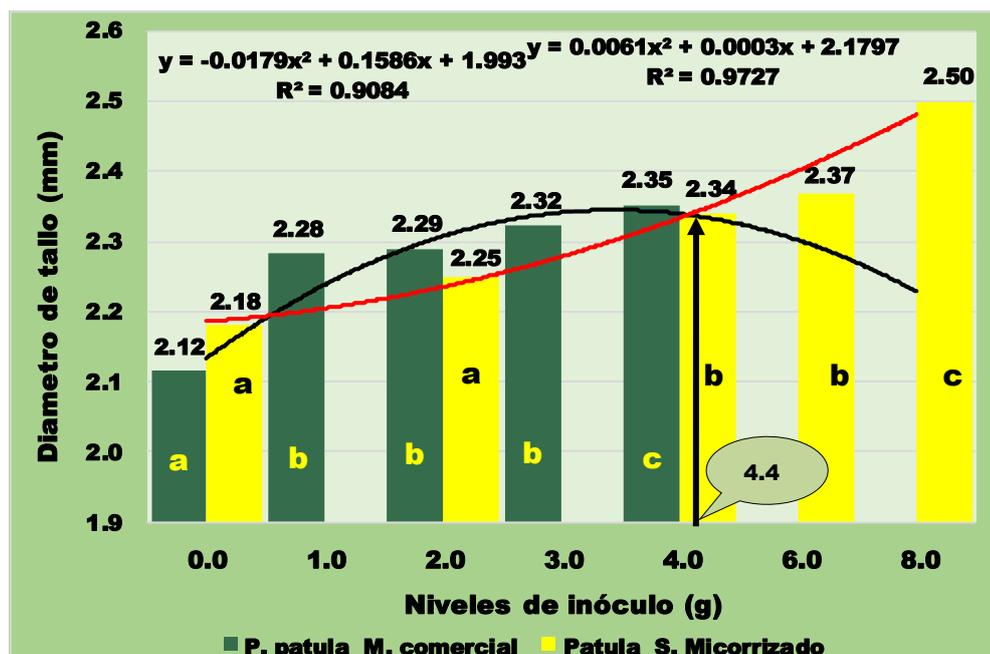


Figura 3.5. Tendencia del diámetro de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.

3.3. PESO SECO DEL TALLO

Tabla 3.3. Análisis de variancia del peso seco del tallo de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	31.588	31.588	2572.96	<.0001 **
Inoculo (I)	1	1.548	1.548	126.13	<.0001 **
E * I	1	0.161	0.161	13.12	0.0006 **
Niveles (E*I)	16	01.809	0.1131	9.21	<.0001 **
Error	60	0.7366	0.113		
Total	79	35.844			

C.V. = 6.8 %

En la tabla 3.3 se muestra el análisis de variancia del peso seco del tallo, donde se observa una alta significación estadística en las dos especies, el inóculo, en la interacción de primer orden y en los diferentes niveles anidado dentro especies con inóculo, por lo que, el estudio se centra en esta fuente de variación. El coeficiente de variación (6.8%) indica un valor de buena precisión que nos permite tener confianza en los resultados.

3.3.1. Peso seco del tallo de *Pinus radiata*

En la figura 3.6 se presenta la tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata* donde se observa que los mayores niveles tanto de micorriza comercial como de suelo micorrizado alcanzan los mayores valores de peso de tallo, es decir que a medida que se incrementan los niveles aumenta el peso seco de tallo, siendo más evidente cuando se usa el suelo micorrizado que alcanza 2,87 g de peso seco de tallo.

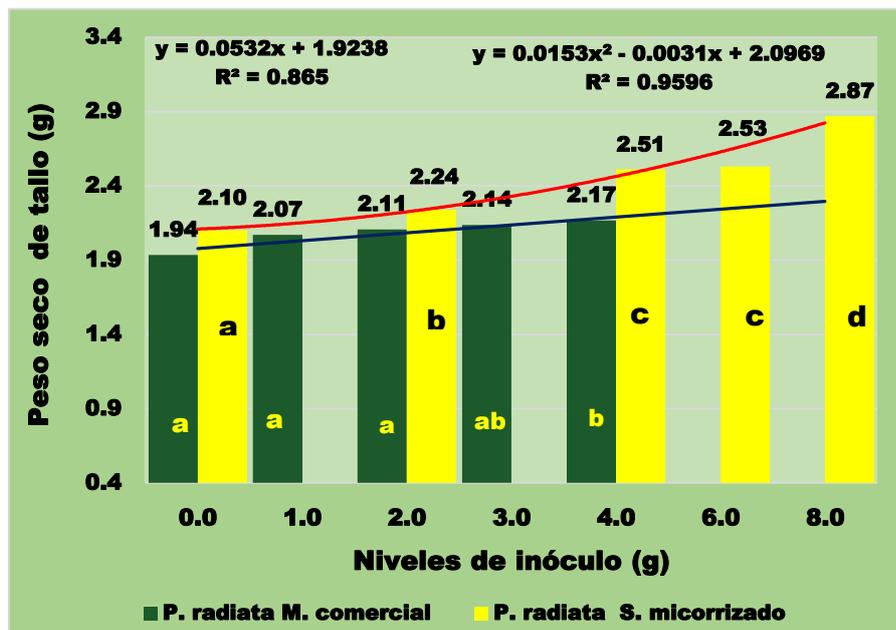


Figura 3.6. Tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm.

3.3.2. Peso seco del tallo en *Pinus patula*

La figura 3.7 muestra la tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula*. Se observa una tendencia lineal positiva con ambos inóculos, pero se evidencia una mayor y mejor respuesta con el inóculo suelo micorrizado llegando a un máximo de 1.23 g de peso seco de tallo al adicionar 8.0 g. Cuando se utilizó el inoculo micorriza comercial se alcanzó peso seco de tallo estadísticamente similares entre los diferentes niveles notándose poca o nula influencia de los niveles de inóculo comercial.

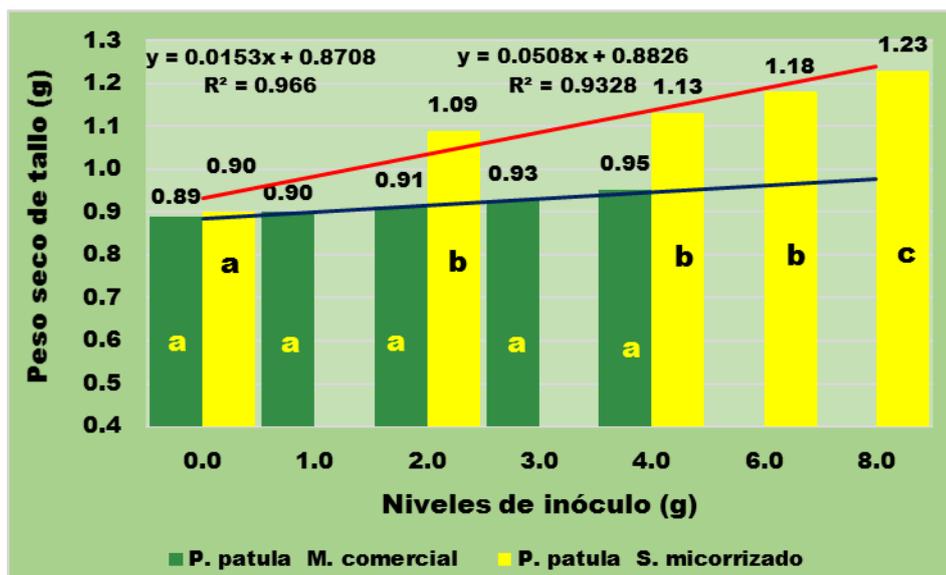


Figura 3.7. Tendencia del peso seco de tallo por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

3.4. LONGITUD DE RAÍZ

Tabla 3.4. Análisis de variancia de la longitud de raíz de plántones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	18.528	18.528	14.00	0.0004 **
Inoculo (I)	1	66.430	66.430	50.19	<.0001 **
E * I	1	0.300	0.300	0.23	0.6357 *
Niveles (E*I)	16	148.699	9.293	7.02	<.0001 **
Error	60	79.407	1.323		
Total	79	313.365			

C.V. = 12.9 %

El análisis de variancia de la longitud de raíz de la tabla 3.4 muestra alta significación estadística para la longitud de raíz en los efectos principales de especies de pinos, inóculo de micorrizas y niveles de inoculo anidado a la interacción especies e inoculo esta alta diferencia permite el análisis de este último efecto. El coeficiente de variación de 12.9 % es un valor de buena precisión que permite obtener buena confianza en los resultados.

3.4.1. Longitud de raíz de *Pinus radiata*

En la figura 3.8 se muestra la tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata* donde se observa la tendencia lineal para micorriza comercial, es decir que a medida que se incrementa el nivel aumenta la longitud de la raíz de los plántones de *P. radiata* alcanzando con el mayor nivel de micorriza una longitud de 10.23 cm. En el caso del inóculo suelo micorrizado se observa una tendencia cuadrática, lo que permitió que a partir de la ecuación mediante cálculos (ver anexo 2) determinar el nivel de inóculo suelo micorrizado que maximiza la longitud de raíz del plánton de *Pinus radiata* (6.95 g)

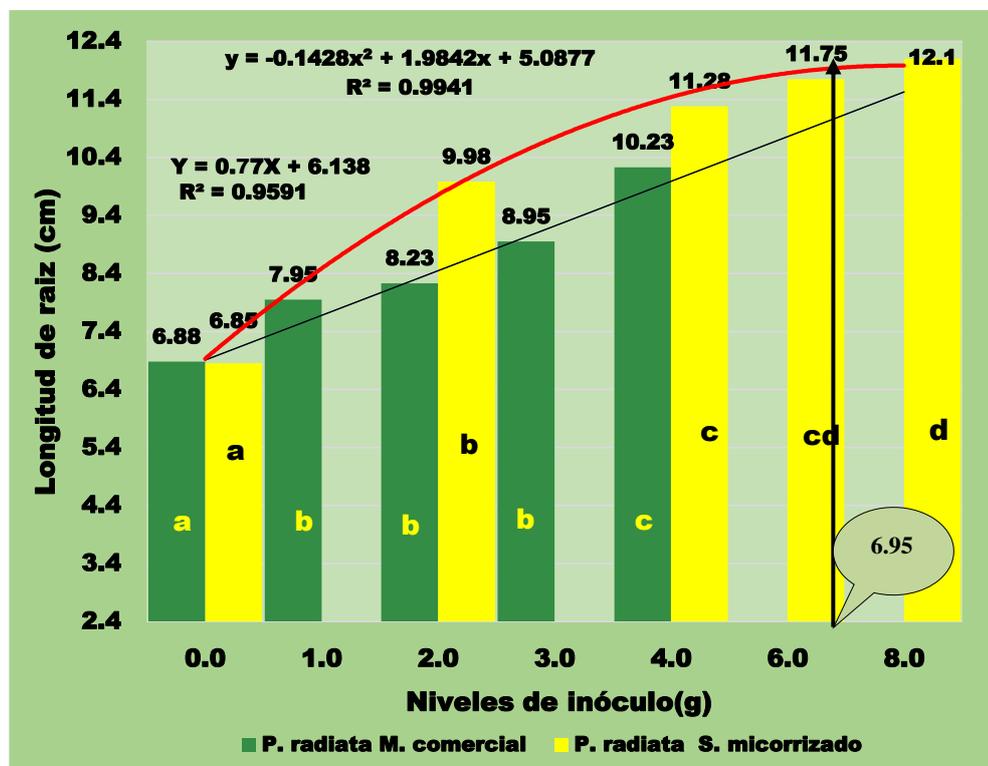


Figura 3.8. Tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

3.4.2. Longitud de raíz en *Pinus patula*

En la figura 3.9 se presenta la tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula* donde observa una tendencia lineal directa para ambos inóculos, sin embargo, se nota claramente una mejor respuesta al inóculo suelo micorrizado, es decir, alcanzó 11.05 cm mientras que para micorriza comercial sólo alcanza 8.03 cm de longitud de raíz.

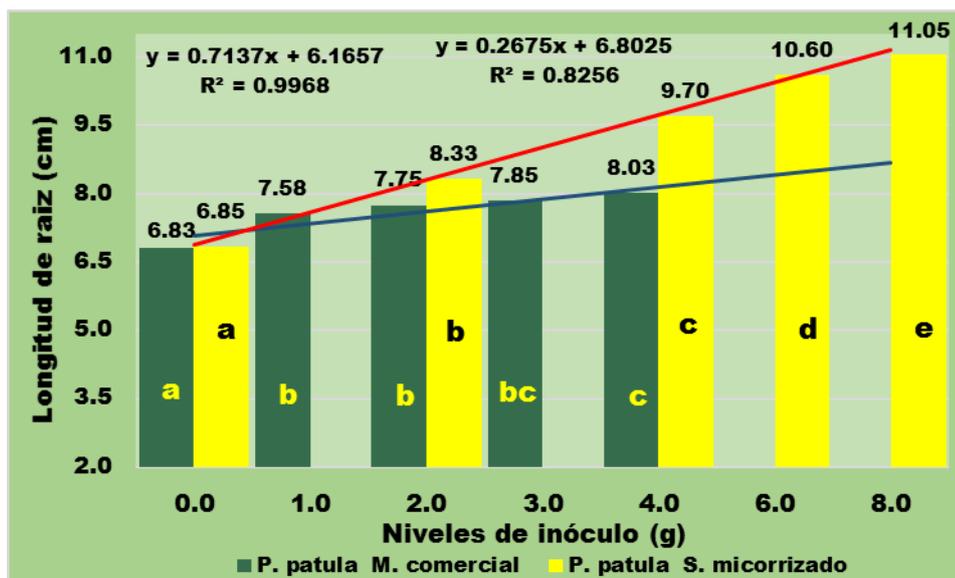


Figura 3.9. Tendencia de la longitud de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

3.5. PESO SECO DE RAÍZ

Tabla 3.5. Análisis de variancia del peso seco de la raíz de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	0.3302	0.3302	173.81	<.0001 **
Inoculo (I)	1	0.0832	0.0832	43.79	<.0001 **
E * I	1	0.0009	0.0009	0.52	0.4754 ns
Niveles (E*I)	16	0.2849	0.0.0178	9.37	<.0001 **
Error	60	0.1140	0.0019		
Total	79	0.8134			

C.V. = 9.1 %

En la tabla 3.5 muestra el análisis de variancia del peso seco de raíz de los pinos donde se observa una alta significación estadística para el peso seco de la raíz, en los efectos principales de especies de pinos, inóculos de micorrizas y en la interacción de los niveles de inóculos anidado en la interacción de especies por inóculos. Asimismo, el coeficiente de variación de 9.1 % significa una buena precisión que nos da confianza en los resultados.

3.5.1. Peso seco de raíz en *Pinus radiata*

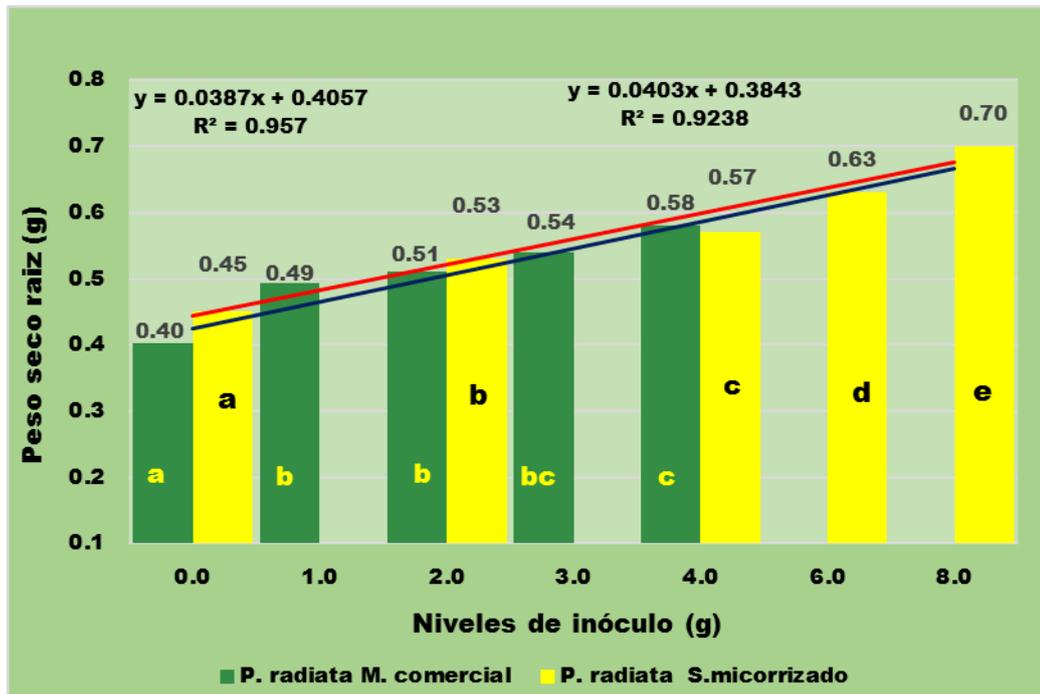


Figura 3.10. Tendencia del peso seco de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus radiata*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

En la figura 3.10 presenta la tendencia del peso seco de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *P. radiata* se observa tendencias lineales del peso seco de raíz para ambos tipos de inóculo, lo que significa que al incrementar los niveles de inóculo también incrementan los pesos secos de raíz. Sin embargo, se nota claramente que los mayores valores del peso seco de raíz se obtienen con la aplicación del suelo micorrizado.

Los valores obtenidos en el presente trabajo presentan la misma tendencia, es decir que el suelo micorrizado es el inóculo que influye mejor en el crecimiento y desarrollo de los plantones y por ende en los pesos secos tanto del tallo como de la raíz.

3.5.2. Peso seco raíz en *Pinus patula*

La figura 3.11 muestra la tendencia lineal del peso seco de la raíz utilizando suelo micorrizado en sus diferentes niveles en la especie de pino patula. Se observa una tendencia lineal cuyo máximo valor de 0.50 g se obtiene cuando se adiciona 8.0 g de del inóculo mencionado, por otro lado, con el inoculo comercial no se tiene una respuesta significativa.

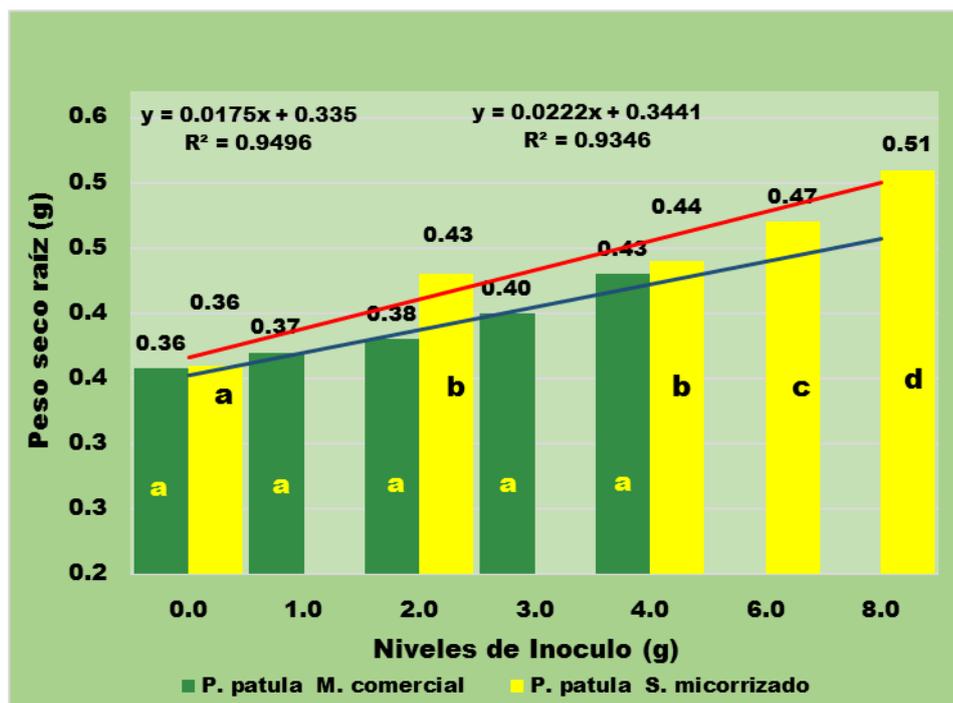


Figura 3.11. Tendencia del peso seco de raíz por efecto de los tipos de inóculos en sus diferentes niveles en *Pinus patula*. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

3.6. RELACIÓN PESO SECO TALLO/PESO SECO RAÍZ

La tabla 3.6 muestra el análisis de variancia de la relación peso seco tallo y peso seco de la raíz, donde se observa una alta significación estadística para la fuente de

Tabla 3.6. Análisis de variancia de la relación peso seco tallo y peso seco raíz de plantones de pino. AGRORURAL, Ayacucho 2761 msnm

F. Variación	G.L.	SC	CM	FC	Pr>F
Especie (E)	1	64.908	64.908	461.321	<.0001 **
Inoculo (I)	1	0.228	0.228	1.62	0.2079 ns
E * I	1	0.005	0.005	0.035	0.8511 ns
Niveles (E*I)	16	2.856	0.1785	1.26	0.2470 ns
Error	60	8.446	0.1407		
Total	79	76.443			

C.V. = 10.5 %

Variación especies de pino, no existe significación estadística para las demás fuentes de variación, este resultado explica la diferencia entre la relación del peso seco del tallo y peso seco de la raíz entre las especies de pino. El coeficiente de variación (10.5 %) indica una medida de buena precisión.

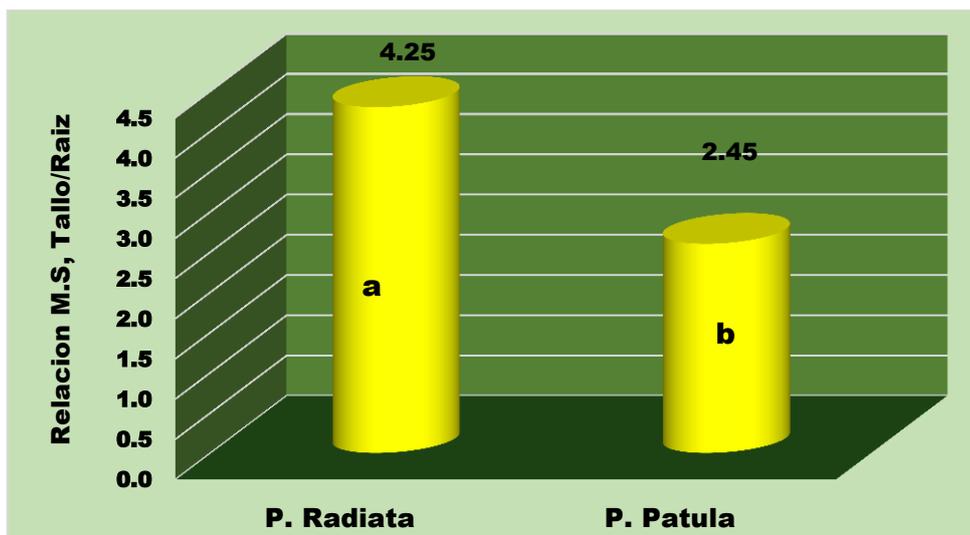


Figura 3.12. Prueba de Tukey (0.05) del efecto principal de la relación peso seco del tallo y peso seco de la raíz en las especies de pinos en promedio de los sustratos y sus niveles.

La figura 3.12 muestra la prueba de Tukey del efecto principal de la relación peso seco del tallo y peso seco de la raíz en las especies de pinos donde se observa que la especie *Pinus radiata* muestra una alta diferencia estadística respecto al *Pinus patula*. Esta relación indica una mayor obtención de biomasa y como consecuencia un mejor crecimiento y desarrollo del *P. radiata*.

3.7. NÚMERO DE MICORRIZAS EN LA RAÍZ

En la tabla 3.7 se presenta el número de micorrizas evaluadas en las raíces de *Pinus radiata* y *Pinus patula* donde se observa que las micorrizas presentan dos tipos de morfología, uno las Monopodiales, que son en mayor cantidad y las dicotómicas que se presentan en menor número. Además, se observa que el tratamiento 10 (*Pinus radiata* en 8 g de suelo micorrizado) contiene el mayor número de micorrizas (534 monopodiales y 37 dicotómicas) lo que significa que a mayor nivel de suelo micorrizado hay mayor número de micorrizas en las raíces de las plantas de *Pinus radiata*, asimismo, se observa en el tratamiento 20 (*Pinus patula* en 8 g de suelo micorrizado) cuyo número de micorrizas (397 y 16) también es el mayor el número para esta especie. Razón por el cual las características de las plantas son de mayor valor en las dos especies de pino cuando se adiciona el mayor nivel de suelo micorrizado.

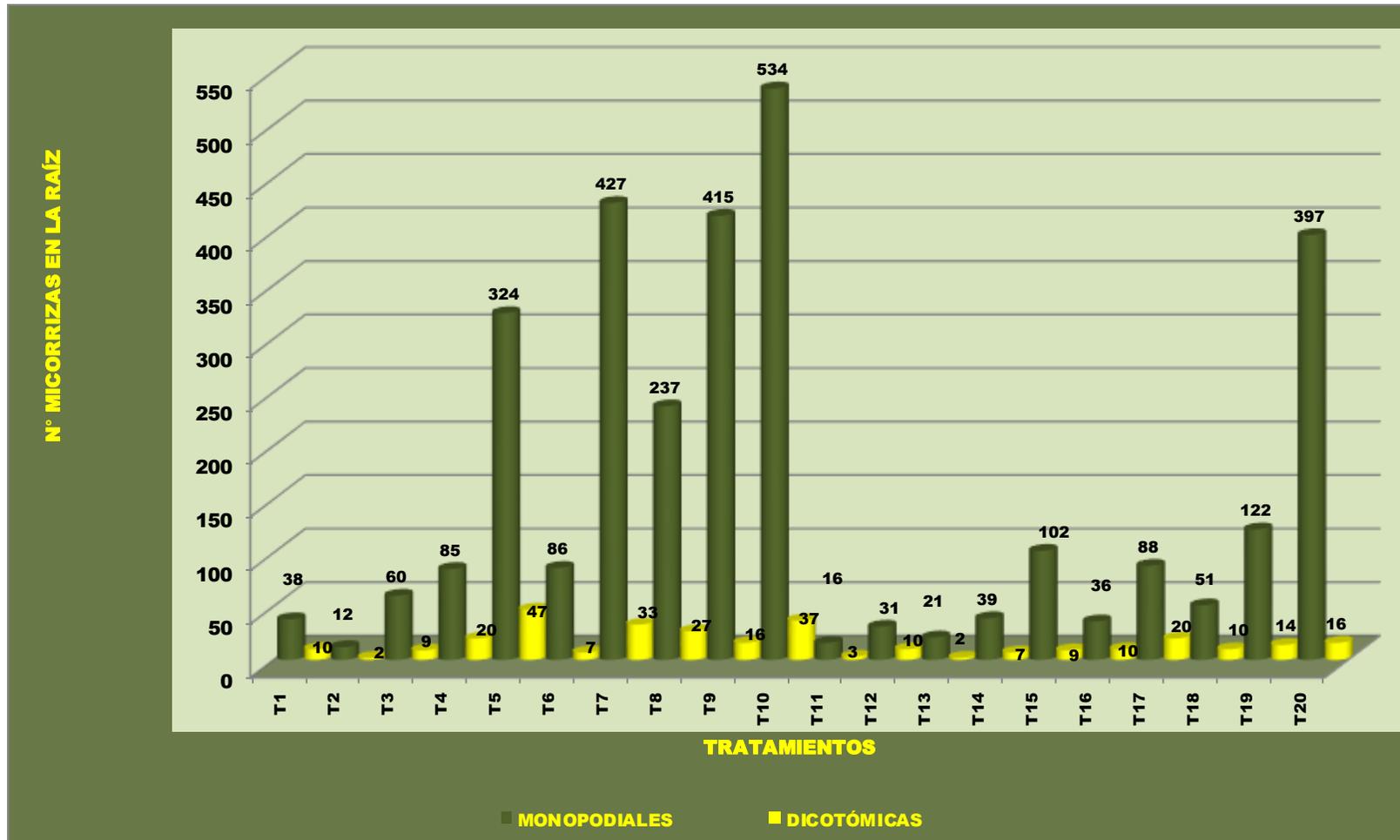


Figura 3.13. Número de micorrizas en la raíz de *Pinus radiata* y *P. patula*

CONCLUSIONES

1. El inóculo suelo micorrizado influye mejor en la producción en tubetes de plántones de *Pinus radiata* y *Pinus patula*.
2. El máximo valor del diámetro de tallo en *Pinus patula* se alcanza al utilizar 4.43 g de micorriza comercial. Del mismo modo, la longitud de raíz en *Pinus radiata* alcanza su máximo valor al utilizar 6.95 g de suelo micorrizado. Las otras variables presentan una tendencia lineal positiva que no permiten determinar el nivel óptimo.
3. El *Pinus radiata* alcanza los mayores valores que *Pinus patula* en altura de plantón (23.78 cm), diámetro (3.99 mm) y peso seco del tallo (2.87 g), longitud (12.1 cm) y peso seco de la raíz (0.70 g) al utilizar el inóculo suelo micorrizado.
4. El *Pinus radiata* muestra una mayor diferencia estadística en la relación peso seco del tallo y peso seco de raíz.
5. La mayor cantidad de micorrizas se encontró en las raíces de *Pinus radiata* (534 monopodiales y 37 dicotómicas) que recibieron 8 g de suelo micorrizado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar *Pinus radiata* en los programas de forestación y reforestación debido a su mejor crecimiento y desarrollo.
2. Utilizar suelo micorrizado de los pinares de Tambo. La Mar, en la producción de plántones de *Pinus radiata*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXOPOUL, J. (2007). Introducción a la micología. 5ta Edición. Editorial universitaria de Buenos Aires. Argentina. 562 p.
- ALARCÓN, A. y FERRERA, R. (1996) La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- ARAUJO, M., et. al. (2000) “Cultivo de tara “, Agencia adventista de desarrollo y recurso asistencialista (ADRA), Lima – Perú.
- BAREA, M. (2003) Análisis de la diversidad de micorrizas y hongos micorrícicos asociados a especies de la flora amenazada del parque nacional de sierra nevada. Granada. España.
- BOLAN, N. (1991) A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Journal Plant and soil. New Zealand; Vol 134: 189 - 207.
- CASTELLANO, M. y MOLINA, R. (1989): Mycorrhizae. The biological component: nursery pests and mycorrhizae. USDA For. Serv. Agric. Handbk., 674. Washington, DC.: 101-167.
- CARRILLO, R. (1992) Simbiosis micorrícica en comunidades boscosas del Valle Central en el sur de Chile. Instituto de Botánica e Instituto de Silvicultura, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile.
- COLOZZI, A. (1997) Micorrizas arbusculares no agrossistema cafeeiro e adubacao verde com leguminosas. 14vo Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- CORREDOR, G. (2003) Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. Programa Nacional de Recursos Biofísicos, Corpoica, Bogotá, pp. 12 - 17.
- DONOSO, C. (1981) Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Documento de Trabajo 38,FO:DP/CHI/76/003. Investigación y desarrollo Forestal (FAO).
- EGUILUZ, T. (1982). Clima y Distribución del género Pinus en México. Distrito Federal. México.
- FITTER, A. (1994) Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. Plant and soil; 159: 123 - 133.

- GARRIDO, N. (1986). “Hongos ectomicorrícicos asociados a árboles forestales exóticos en Chile”. 423-442.
- GODOY R., CARRILLO R. (1991) Compatibilidad y eficiencia de hongos micorrizicos- arbusculares en *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y Quillaja saponaria Mol. Ciencia e Investigación Forestal 5: 237 – 250.
- HABTE, M. (2001) Arbuscular micorrizas: producing and applyng arbuscular mycorrhizal inoculum. Collage of tropical agriculture and human resources. University of Hawaii at Manoa, pp. 15 - 23.
- INFANTE, J. (2003). Las micorrizas. disponible en <http://www.triton.cl/index.php.pagina=faq>. Accedido el 15 de enero de 2017.
- IRRAZABAL, G. (2004). Inefectividad y diversidad de hongos micorrícicos arbusculares de la rizósfera de talares de Magdalena. Provincia de Buenos Aires. Argentina.
- LONDOÑO, C. y ESTRADA, J. (1991) Evaluación productiva de la micorriza *Glomus manihotis* en el pasto *Axonopus scoparius*. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, pp. 10 - 24.
- MALDONADO, J. y RAMÍREZ, G. (1997) Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*Coffea arábica*) Variedad Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, pp. 3 – 83.
- MIYASAKA, S. y HABTE, M. (2001) Plant mechanisms and mycorrhizal symbiosis to increase phosphorus uptake efficiency. Journal Series Nro. 4468, College of tropical Agriculture and Human resources, Hawaii, Honolulu, pp. 1101 - 1133.
- PATE J. (1994) The mycorrhizal association: just one of many nutrient acquiring specializations in natural ecosystems. Plant and soil; 159, pp. 1 - 10.
- RADDATTZ, E. (2002) Micorriza: el abono vivo Campo & Agro. Zamorano, España, 15 p.
- RAMÍREZ A., OTÁLVARO D., ÁLVAREZ C. (2001) et al. Efectos de microorganismos rizosféricos sobre la absorción de fosfato y el crecimiento de *Leucaena* en un andisol. Revista Suelos Ecuatoriales; Vol. 31– 2.
- READ, D. (1999). Mycorrhiza. Estado de las micorrizas 2 unid. (A. Varma y B. Hock, Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 3-34.

- REYES J., FERRERA-CERRATO R., ALARCÓN, A. (1998) Endomicorriza vascular, bacterias y vermicomposta en plántulas de aguacate en vivero. Memoria Fundación Salvador Sánchez Colin CICTAMEX S.C. Coatepec Harinas, México, pp. 12 – 22.
- RIVERA, M. (1993) “Efecto de tratamientos pre-germinativos en semilla de tara (*Caesalpinea spinosa*), en Ayacucho – 2756 msnm”. Informe de investigación. Grado de bachiller en Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Agrarias UNSCH, Ayacucho – Perú 43p p.
- RODRÍGUEZ I., CRESPO G., RODRÍGUEZ C., et al. (2002). Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con *Leucaena leucocephala* para la ceba de toros. Revista Cubana de ciencia Agrícola; Tomo 36. Nro. 2, pp. 181 -185.
- RONCAL, M. (2007) Revista científica de la Escuela de posgrado de la Universidad de Cajamarca. Volumen 3, N°. 2, Agosto – Diciembre.
- SÁNCHEZ DE P. M. (1999) Endomicorrizas en Agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira, 227 p.
- SEMPERE, F. (2001) La Aplicación de las Micorrizas. Revista “Agrícola Vergel” N° 232 de abril, pp. 198-201.
- SERFOR (2014). “Vivero forestal para producción de plántulas de especies forestales nativas” experiencia en Molinopampa, Amazonas – Perú.
- SHAFER, P. (1998) Efecto de distintos regímenes de manejo radicular en el crecimiento de plantas de raulí (*Nothofagus alpina*). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- SOLANO, R. (2013) Forestación. Texto universitario. Facultad de Ciencias Agrarias. UNSCH. Ayacucho, Perú.
- SYLVIA, D. FUHRMANN J, HARTEL P, (1999) Principles and applications of soil microbiology. Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey, USA, 550 p.
- VELASCO, A. (2000), “Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles” Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
- VELASCO, A. y ZAMBRANO, J. (2000) Mejoramiento del Suelo por *Acacia Mangium* en un sistema silvopastoril con *Brachiaria Humidicola*. CATIE, Costa Rica, 15 p.

- VILAR, A. (2000) Micorrizas arbusculares. Boletín Pesquisa, EMBRAPA, Brasil, Nro. 17, 17 p.
- VILCAMICHE, A. (1993) “Efecto de tratamientos pre-germinativos en semillas de leucaena (*Leucaena leucocephala*)”, Informe de práctica pre-profesional. Facultad de Ciencias Agrarias – UNSCH. Ayacucho _ Perú.
- VINUEZA, M. (2015). Fichas técnicas de Especies Forestales. Ecuador.
- WORMALD, T. (1975). *Pinus patula*. Silvicultura Tropical. Oxford, Reino Unido: Departamento de Silvicultura, Instituto Forestal de la Commonwealth. 212 p
- YOUNG, A. (2001). Introducción de las Ciencias Forestales. 3ra Edición. Editorial H. Blume. España. 128p.

ANEXOS

Anexo 1. Ecuación del diámetro de tallo de la planta de *Pino patula*

Nivel óptimo de micorriza comercial en el diámetro de planta de pino

$$Y = - 0.0179 x^2 + 0.1586 x + 1.993$$

$$Y = 1.993 + 0.1586 x - 0.0179 x^2$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.1586 - 0.0358 = 0$$

$$\frac{0.1586}{- 0.0358} = 4.43$$

Dónde:

Y: Diámetro de tallo (mm)

X: Nivel de óptimo de inóculo de micorriza comercial

Anexo 2. Ecuación de la longitud de raíz de la planta de *Pino radiata*

Nivel óptimo de suelo micorrizado en la longitud de raíz de pino

$$Y = -0.1428 x^2 + 1.9842 x + 5.0877$$

$$Y = 5.0877 + 1.9842 x - 0.1428 x^2$$

dy

$$\frac{dy}{dx} = 1.9842 - 0.2856 x = 0$$

Dx

$$\frac{1.9842}{-0.2856} = 6.95$$

Dónde:

Y: Longitud de raíz (cm)

X: Nivel de óptimo de inóculo de suelo micorrizado

Anexo 3. Número de micorrizas en las raíces de dos especies de pinos

TRATAMIENTO	MONOPODIALES	DICOTOMICAS	COLOR
T ₁	38	10	Café oscuro
T ₂	12	2	Café oscuro
T ₃	60	9	Café oscuro
T ₄	85	20	Café oscuro
T ₅	324	47	Café oscuro
T ₆	86	7	Café oscuro
T ₇	427	33	Café oscuro
T ₈	237	27	Café oscuro
T ₉	415	16	Café oscuro
T ₁₀	534	37	Café oscuro
T ₁₁	16	3	Café oscuro
T ₁₂	31	10	Café oscuro
T ₁₃	21	2	Café oscuro
T ₁₄	39	7	Café oscuro
T ₁₅	102	9	Café oscuro
T ₁₆	36	10	Café oscuro
T ₁₇	88	20	Café oscuro
T ₁₈	51	10	Café oscuro
T ₁₉	122	14	Café oscuro
T ₂₀	397	16	Café oscuro

Anexo 4. Panel Fotográfico



Foto 1. Cerniendo la tierra negra



Foto 2. Llenando el sustrato en los tubetes de la bandeja



Foto 3. Midiendo las plantas de pino



Foto 4. Plantas de pino en crecimiento



Foto 5. Plantas de pino en crecimiento



Foto 6. Lavado de la raíz



Foto 7. Pinos evaluados en laboratorio



Foto 8. Peso fresco de pino



Foto 9. Muestra para observar micorrizas presentes en el suelo



Foto 10. Observación en microscopio de micorrizas presentes en el suelo