



FERTILIZACIÓN E INOCULACIÓN DE MICORRIZAS EN PLÁNTULAS DE *Pinus radiata* D. Don

FERTILIZATION AND INOCULATION OF MYCORRHIZA IN SEEDLINGS OF *Pinus radiata* D. Don.

Albert Smith Moreto Velásquez^{1*}; Osmer Leodan Samaniego Huamán¹; Lizbeth Maribel Córdova Rojas²
Joseph Campos Ruiz³; Azucena Chávez Collantes³; Sanderson Narcizo Campos Ruiz⁴

¹Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental, Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú.

²Escuela Profesional de Biotecnología, Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía, Bagua Capital, Perú.

³Instituto Nacional de Innovación Agraria, Cajamarca, Perú.

⁴Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Albert Smith Moreto Velásquez  <https://orcid.org/0009-0006-9863-0298>
Osmer Leodan Samaniego Huamán  <https://orcid.org/0009-0007-2557-8975>
Lizbeth Maribel Córdova Rojas  <https://orcid.org/0000-0002-9998-5019>
Joseph Campos Ruiz  <https://orcid.org/0000-0002-6994-4670>
Azucena Chávez Collantes  <http://orcid.org/0000-0002-4782-1274>
Sanderson Narcizo Campos Ruiz  <https://orcid.org/0000-0001-9308-1767>

Artículo Original

Recibido: 27 de junio de 2023

Aceptado: 17 de noviembre de 2023

Resumen

La propagación masiva de plántulas de pino en los viveros forestales enfrenta problemas por enfermedades y deficiencias nutricionales. Por ello, la utilización de micorrizas inoculadas a nivel de la raíz a los plántulas de pino es una alternativa ecológica y sostenible para mejorar la calidad de estos. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de las micorrizas y fertilización en el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* D. Don y determinar el tratamiento óptimo que permita el mejor crecimiento y desarrollo vegetativo. Se establecieron 8 tratamientos con 80 repeticiones; en donde, el T7 (15 mL de agua + *S. luteus* 1 g + Basacote Plus 1 g) mostró los mejores resultados en las variables de supervivencia (99%), altura (16.01cm), diámetro (2.09), peso de la biomasa fresca aérea y radicular (1.86 g y 0.45 g); índice de lignificación (24.26) y índice de calidad de Dickson (6.57), siendo este el tratamiento óptimo para aumentar el crecimiento y mejorar la calidad de las plántulas de *P. radiata* en fase de vivero, lo cual repercute en la supervivencia de la especie en campo.

Palabras clave: Índice de lignificación, índice de calidad de Dickson, inoculación.

Abstract

The massive propagation of pine seedlings in forest nurseries faces problems due to diseases and nutritional deficiencies. Therefore, the use of mycorrhizae inoculated at the root level of pine seedlings is an ecological and sustainable alternative to improve their quality. The objective of this research was to study the effect of mycorrhizae and fertilization on the growth of *Pinus radiata* D. Don seedlings and determine the optimal treatment that allows the best growth and vegetative development. 8 treatments with 80 repetitions were established; where, T7 (15 mL of water + *S. luteus* 1 g + Basacote Plus 1 g) showed the best results in the variables of survival (99%), height (16.01cm), diameter (2.09), weight of the fresh aerial and root biomass (1.86 g and 0.45 g); lignification index (24.26) and Dickson quality index (6.57), this being the optimal treatment to increase growth and improve the quality of *P. radiata* seedlings in the nursery phase, which has an impact on the survival of the species on field.

Keywords: Lignification index, Dickson quality index, inoculation

*Autor para correspondencia: E. mail: Albert.moreto@est.unj.edu.pe

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2023.43.02.09>

Citar como:

Moreto-Velásquez, A., Samaniego-Huamán, O., Córdova-Rojas, L., Campos-Ruiz, J., Chávez-Collantes, A., & Campos-Ruiz, S. (2023). FERTILIZACIÓN E INOCULACIÓN DE MICORRIZAS EN PLÁNTULAS DE *Pinus radiata* D. Don. *REBIOL*, 43(2), 66-78.



1. Introducción

Los bosques del distrito Chirinos ubicado en la provincia de San Ignacio perteneciente al departamento de Cajamarca, en los últimos años han sufrido impactos negativos, experimentado cambios a causa de la realización de actividades como la tala indiscriminada, la agricultura migratoria y la quema. Sus especies forestales cada vez están disminuyendo a causa de la agricultura basada en la producción del café. El vivero forestal de Chirinos se encuentra produciendo plántones de *Pinus radiata*, D. Don, debido a la alta demanda y a los planes de reforestación que se vienen ejecutando en la zona. El pino es la especie forestal que se está introduciendo dentro del distrito en los últimos años, sin embargo, dentro del vivero se han presentado problemas por la falta de plántones de calidad debido al manejo inadecuado por parte del personal encargado, y además a la poca adaptabilidad a los rigores edafoclimáticos del área donde se plantan (Ancco, 2019).

Una de las alternativas para mejorar la calidad del plantón es la micorrización y fertilización. Al respecto las micorrizas son asociaciones simbióticas entre los hongos del suelo y los órganos de absorción de las plantas. El principal beneficio que las plantas obtienen de la simbiosis es la nutrición mineral, por la aportación adicional de nutrientes mediante sus hifas especializadas de los hongos micorrízicos conectados a la raíz. En esta asociación la planta le proporciona al hongo los carbohidratos y azúcares, así como un micro hábitat para completar su ciclo de vida; mientras que el hongo le permite a la planta mejorar la captación de agua, nutrientes y minerales con baja disponibilidad en el suelo (P), así como también defensas contra patógenos (Camargo *et al.*, 2012).

Las micorrizas desempeñan un papel clave en *Pinus* spp, permitiendo una absorción de nutrientes más eficiente (Kulmann *et al.*, 2023). En los últimos años se ha enfatizado la importancia de las micorrizas en la nutrición de los árboles, especialmente para el N y el P (Nehls y Plassard, 2018). Las micorrizas pueden influir en la adquisición de formas de P por parte de las plantas, ya que aumentan la disponibilidad y movilidad de los iones fosfato en el suelo mediante la exudación de ácidos orgánicos, especialmente en suelos de baja fertilidad natural (Gómez-Romero *et al.*, 2015). La asociación de Hongos micorrízicos y *Pinus* spp. puede mejorar el establecimiento y supervivencia de las plántulas en campo, al aumentar la capacidad de absorción de nutrientes esenciales, incluido P, longitud de las raíces, protección contra patógenos, aumento de

la producción de materia seca (Gómez-Romero *et al.*, 2015).

Además, las micorrizas mejoran la agregación del suelo, incrementan la tasa fotosintética, y estimulan sustancias reguladoras de crecimiento, exponiendo la importancia que tienen estos hongos en comparación a los productos químicos (García, 2017). La micorrización y fertilización han demostrado buenos resultados en tratamientos combinados de inoculante micorrízico y fertilización química en baja dosis evidenciándose que ambos componentes son complementarios en el crecimiento de las plántulas de *P. radiata* (Salcido-Ruiz, 2021).

La investigación tuvo como objetivo general el evaluar el efecto de la inoculación y fertilización en el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* D. Don en el vivero forestal de la Municipalidad Distrital de Chirinos- Cajamarca y cómo objetivos específicos fue determinar el tratamiento óptimo que permita un mejor crecimiento de plántulas de *Pinus radiata*, evaluar el desarrollo vegetativo de las plántulas de *Pinus radiata* en la supervivencia, altura del tallo y diámetro al cuello de la raíz a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días; evaluar el peso de la biomasa fresca aérea y radicular, la biomasa seca aérea y radicular, el índice de lignificación y el índice de calidad de Dickson a los 60 días.

2. Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio Área de estudio

El vivero forestal, se encuentra ubicado en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca.

Población, muestra y muestreo

La población fue constituida por 640 plantas de *Pinus radiata*, del vivero forestal del Distrito de Chirinos. Para la muestra se tomaron 80 plántulas de *Pinus radiata*. El muestreo es no probabilístico a conveniencia del investigador donde se tomó en cuenta las características fenotípicas sobresalientes de cada plántula. El tipo de estudio es una investigación experimental y el diseño utilizado es un diseño completamente aleatorizado (DCA) (Hernández *et al.*, 2014), la investigación constó de 8 tratamientos con 80 repeticiones totalizándose un total de 640 unidades experimentales.

Manejo de plantas en vivero, preparación del sustrato y relleno de tubetes

El área de almácigos midió 0.95m.x 3m x 0.09 m, correspondiendo al ancho, largo y altura. El sustrato estuvo constituido por tierra agrícola, arena, previamente zarandeados, en una proporción de 2:1 respectivamente. El sustrato fue desinfectado con una solución de 10 mL de formalina (formol) al 20%, con 3 litros de agua y luego se cubrió con plástico transparente, removiendo durante 5 días hasta que desaparezca el olor. Las camas tuvieron una dimensión de 1,5 m de ancho x 10,0 m de largo, donde se acondicionaron las bandejas de tubetes conteniendo el sustrato previamente preparado para recepcionar las plántulas de pino.

Los tubetes fueron desinfectados con una solución de 20 ml de formol al 20%, con 5 litros de agua durante 20 minutos, luego se enjuagaron con agua y se colocaron a las bandejas correspondientes. El sustrato utilizado contenía tierra negra, arena, materia orgánica en una proporción 2:1:1/3. En simultáneo se tomó una muestra representativa de 1 kg de suelo para realizar el análisis físico-químico en el laboratorio de la Universidad Nacional Toribio de Mendoza. Luego se procedió a llenar los tubetes con el sustrato aplicando suaves golpes al tubete contra el suelo con la finalidad de asegurar una buena distribución y lograr la rigidez deseada. Por último, se colocaron los tubetes ordenadamente en las camas de repique.

Repicado

El repicado se realizó 30 días después de la siembra de semillas en el almacigo, retirando cuidadosamente las plántulas sin dañar las raíces. Se seleccionaron 640 plántulas, con características similares siendo estas las más vigorosas y de mayor tamaño entre 4 y 5 cm. Para el repique se humedeció el sustrato con ayuda de una regadera para extraer las plántulas del almacigo, luego de la extracción de las plántulas del almacigo, se empezó a ser el repique, con ayuda de un repicador de madera de 10 centímetros se introdujo en el tubete para realizar

el hoyo. Luego se colocó la plántula y se rellenó el hoyo con sustrato.

Figura 1

Aparición de las plántulas de *Pinus radiata* a los 15 días de la germinación.



Tratamiento óptimo

A los 10 días posteriores del repique, se añadió las dosis respectivas de cada uno de los tratamientos. Primero se regó las plantas con la ayuda de una regadera para posteriormente aplicar 15 mL de dosis con la ayuda de una jeringa en la rizosfera de las plántulas de pino para cada tratamiento (Tabla 1).

Figura 2

Comparación entre tratamientos



Tabla 1.

Dosis aplicadas en cada tratamiento

Tratamientos	Descripción	Dosis
T1	Control o testigo	15 mL de agua
T2	Fertilización 0.5 g	15 mL de agua + 0.5 g de Basacote Plus 3M
T3	Fertilización 1 g	15 mL de agua + 1 g de Basacote Plus 3M
T4	Fertilización 1.5 g	15 mL de agua + 1.5 g de fertilizante
T5	Inóculo de Micorriza 0.05g	15 mL de agua + <i>Suillus luteus</i> 0.05g
T6	Inóculo de Micorriza 0.5g + Fertilización 0.5 g	15 mL de agua + <i>Suillus luteus</i> 0.5g + Basacote Plus 0.5 g
T7	Inóculo de Micorriza 1 g + Fertilización 1 g	15 mL de agua + <i>Suillus luteus</i> 1 g + Basacote Plus 1 g
T8	Inóculo de Micorriza 1.5 g + Fertilización 1.5 g	15 mL de agua + <i>Suillus luteus</i> 1.5 g + Basacote Plus 1.5 g

El riego se realizó de acuerdo al estado fisiológico de la planta. Después el riego principalmente se llevó a cabo dejando un día en horas de la mañana, utilizando una jeringa graduada con dosis de agua de 25 mL por cada tubete o planta.

Evaluación del desarrollo vegetativo

Los 80 plantones de cada tratamiento fueron evaluados a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días después del repique. Se evaluó los siguientes parámetros:

Supervivencia (%): Mediante la observación directa se contabilizó el número de plantas vivas y muertas.

Altura del tallo (cm): Se evaluó la medición desde la base de planta hasta el ápice con la regla graduada.

Diámetro al cuello de la raíz (mm): Se realizó la medida del diámetro con un vernier digital para mayor precisión.

Evaluación de biomasa, Índice de lignificación y ICD.

A los 60 días, las plantas fueron retiradas de los tubetes, y se transportaron con dirección al laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén para el pesado y secado, a una temperatura de 90 °C por un tiempo de 24 horas. Luego se pesaron las plantas secas en una balanza analítica. Para determinar el índice de lignificación y calidad de Dickson (ICD) se utilizaron las siguientes fórmulas:

Índice de lignificación: Según Prieto *et al.* (2009)

$$IL = \frac{\text{Peso total seco g}}{\text{Peso total húmedo g}} \times 100$$

Índice de Calidad de Dickson: Dickson *et al.* (1960), citados por Rodríguez, (2008)

$$ICD = \frac{\text{Peso total seco (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}$$

Figura 3.

Medición del diámetro y la altura de las plántulas de *Pinus radita*.



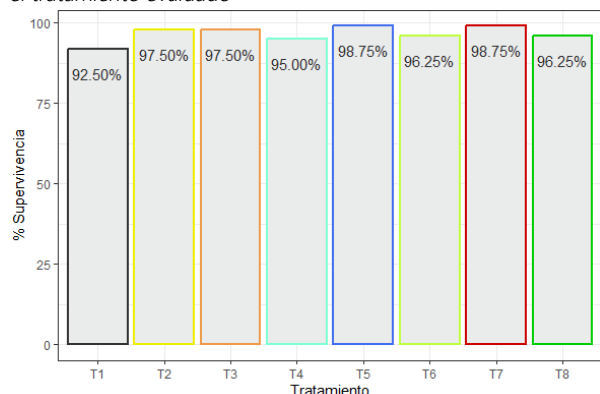
3. Resultados

Supervivencia

En la figura 4 se puede ver que en el tratamiento T1 (testigo) presentó el menor porcentaje de supervivencia (92.50%), mientras que aquellas pertenecientes a los tratamientos T5 y T7 alcanzaron el mayor porcentaje de supervivencia (98.75 %).

Figura 4

Porcentaje de supervivencia de las plántulas de *P. radiata*, según el tratamiento evaluado

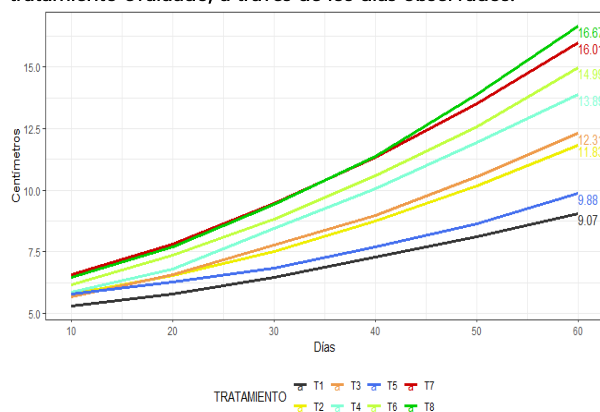


Altura del tallo

Según la figura 5 las plantas de *P. radiata* con el tratamiento T8 obtuvieron una altura promedio de 16.67 cm, seguidas del tratamiento T7 con promedio de 16.01 cm. El menor crecimiento de las plántulas se observó con T5 y al grupo testigo T1, con tamaños promedio de 9.88 y 9.07 cm respectivamente.

Figura 5

Tamaño promedio de las plántulas de *P. radiata*, según el tratamiento evaluado, a través de los días observados.

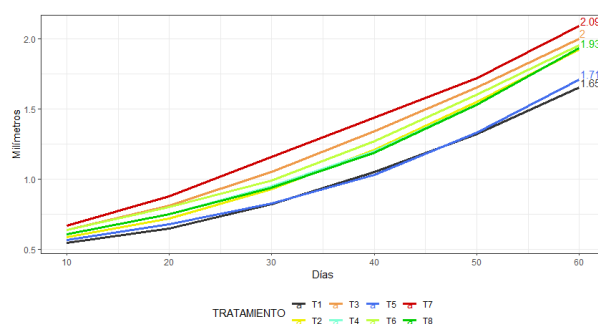


Diámetro al cuello de la raíz

La figura 6 muestra que las plántulas con el tratamiento T7 han presentado durante todo el periodo de observación los mayores valores de diámetro, finalizando la evaluación con un diámetro promedio de 2.09 milímetros. Los diámetros de menor valor fueron para las plántulas tratadas con T5 y al grupo testigo T1 quienes obtuvieron un diámetro promedio de 1.71 y 1.65 milímetros, respectivamente.

Figura 6

Diámetro promedio de las plántulas de *P. radiata*, según el tratamiento evaluado, a través de los días observados.



Biomasa fresca aérea y radicular

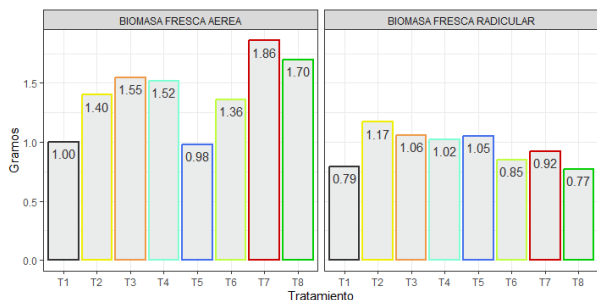
Con respecto a la biomasa fresca aérea, se puede observar en la figura 8 que el tratamiento T7 permitió obtener plántulas con mayor biomasa promedio (1.86 g) seguido por el tratamiento T8 (1.70 g); mientras que los tratamientos T5 y T1 proporcionan plántulas con menor biomasa, en promedio.

Figura 7

Determinación de la biomasa aérea y radicular de plántulas de *Pinus radiata*



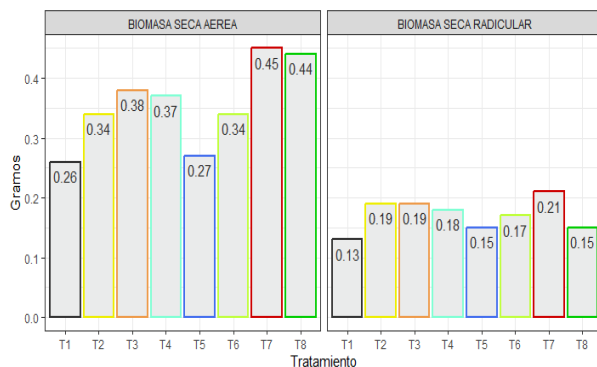
Figura 8
Biomasa fresca de las plántulas de *P. radiata* para cada tratamiento evaluado.



Biomasa seca aérea y radicular

Las plántulas tratadas con T7 y T8 son las que presentaron mayor biomasa seca aérea en promedio (0.45 y 0.44 g respectivamente); mientras que las plántulas de menor biomasa fueron los tratamientos T5 y T1 con 0.27 y 0.26 g respectivamente. Respecto a los valores de biomasa seca radicular el T1 presentó valores menores al resto de tratamientos con un promedio de 0.13 g (Figura 9).

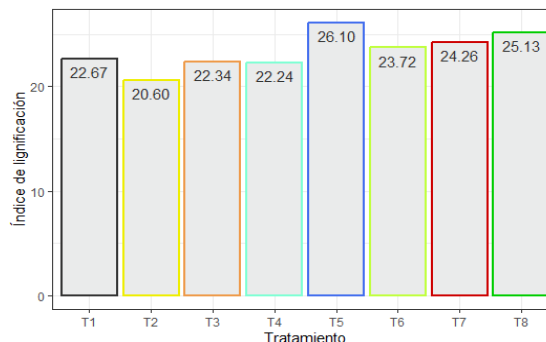
Figura 9
Biomasa seca de las plántulas de *P. radiata* para cada tratamiento evaluado.



Índice de lignificación

En la figura 10 se puede ver que los tratamientos T5 y T8 muestran, en promedio, mayores valores de dicho índice (26.10 y 25.13 respectivamente); mientras que el tratamiento T2 tiene el más bajo índice de lignificación con 20.60.

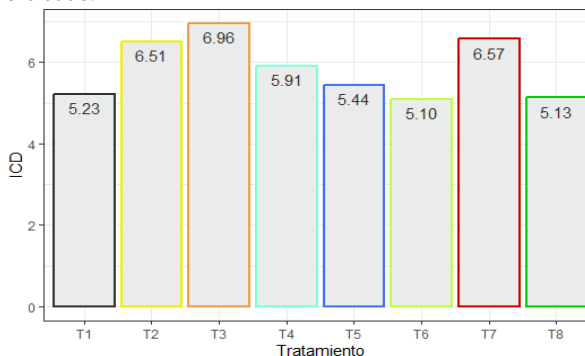
Figura 10
Índice de lignificación para las plántulas de *P. radiata* en cada tratamiento evaluado.



Índice de calidad de Dickson

La figura 11 muestra a los tratamientos T3 y T7 con mayores valores del ICD (6.96 y 6.57 respectivamente); mientras que el tratamiento T6 resultó con menores valores del ICD, en promedio, 5.10.

Figura 11
ICD para las plántulas de *P. radiata* en cada tratamiento evaluado.



Observándose gráficamente la existencia de posibles efectos de los tratamientos sobre cada una de las medidas observadas en las plántulas de *P. radiata*, se realizó el análisis de varianza.

En la tabla 2, se tienen los resultados del análisis de varianza aplicado a cada una de las medidas observadas, considerando un nivel de significancia del 5%. Se puede ver que, solo para los valores de biomasa fresca radicular no se puede confirmar estadísticamente la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos (p valor = 0.3143 > 0.05); mientras que en las otras medidas evaluadas si existen diferencias significativas entre los valores de los tratamientos (p valor < 0.05).

Tabla 2.

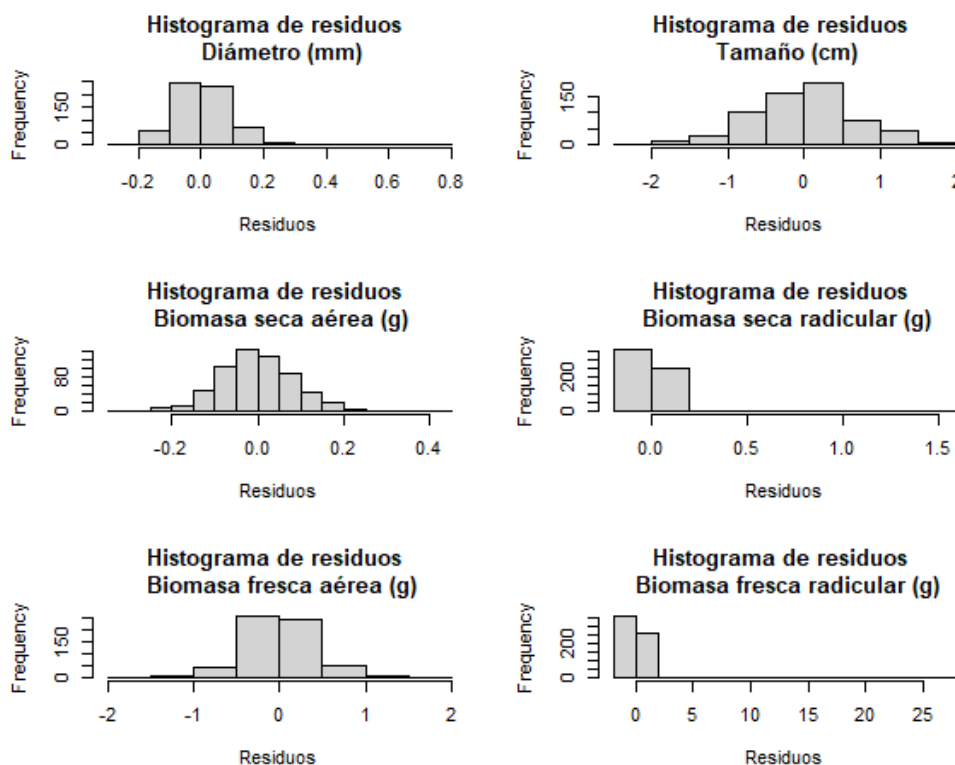
Análisis de varianzas, para cada medida observada de las plántulas de *P. radiata*.

Fuentes de verificación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Estadístico F	P valor
Diámetro	7	11.3522	1.6217	191.1644	0.0000
Tamaño	7	4166.3151	595.1879	1239.1309	0.0000
Biomasa seca aérea	7	2.5217	0.3602	40.6607	0.0000
Biomasa seca radicular	7	0.3294	0.0471	5.9374	0.0000
Biomasa fresca aérea	7	52.3970	7.4853	42.8593	0.0000
Biomasa fresca radicular	7	10.9367	1.5624	1.1762	0.3143

Para evaluar el supuesto de normalidad de los datos en cada análisis de varianza, se tiene en la figura 12 representados gráficamente los histogramas de los residuos del ANVA realizado a cada una de las medidas. Se puede ver que la distribución de los residuos, en todas las medidas, presenta una forma acampanada y ligeramente simétrica alrededor del cero (comportamiento que corresponde a una distribución normal); así también, se puede observar para las dos medidas de biomasa radicular (fresca y seca) existen datos atípicos, por lo que el modelo planteado en el análisis de varianza no está explicando correctamente estos valores lo que está generando un residuo elevado.

Figura 12

Evaluación gráfica del supuesto de normalidad, mediante histograma de residuos del análisis de varianza, para cada medida.



En la tabla 3, se tienen los resultados del análisis de varianza aplicado a los índices de lignificación y de calidad de Dickson, considerando un nivel de significancia del 5%. Se puede ver que, en ambos índices si existen diferencias significativas entre los valores de los tratamientos (p valor < 0.05).

Tabla 3

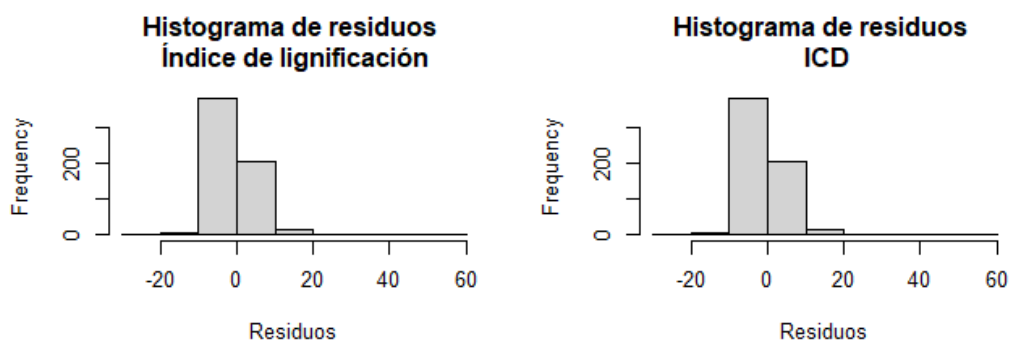
Resultados de análisis de varianza, para los índices de lignificación y calidad de Dickson, de las plántulas de P. radiata.

Indicador	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Estadístico F	P valor
Índice de lignificación	7	1708.9391	244.1342	6.6191	0.0000
Índice de calidad de Dickson (ICD)	7	294.8145	42.1164	11.1461	0.0000

Para evaluar el supuesto de normalidad de los datos en cada análisis de varianza de los indicadores, se tiene en la figura 13 los histogramas de los residuos del ANVA de ambos indicadores. Se puede ver que la distribución de los residuos presenta una forma acampanada y ligeramente simétrica alrededor del cero (comportamiento que corresponde a una distribución normal), así también se puede observar para los dos indicadores existen datos atípicos, por lo que el modelo planteado en el análisis de varianza no está explicando correctamente estos valores lo que está generando un residuo elevado.

Figura 13

Evaluación gráfica del supuesto de normalidad, mediante histograma de residuos del análisis de varianza, para cada indicador.



Mediante de la prueba de Tukey se determinó que si existen diferencias significativas entre tratamientos (tabla 4). Teniendo en cuenta un nivel de significancia del 5%, se logra observar que, para el tamaño de las plántulas, todos los tratamientos se diferencian significativamente entre sí, siendo T8 el tratamiento que presenta un mayor valor promedio; para el diámetro, el tratamiento T7 se diferencia significativamente del resto de tratamientos, siendo el mayor, seguido por T8; además se puede observar que los tratamientos T6, T4, T8 y T2 estadísticamente no presentan diferencias entre sí. Respecto a los valores de biomasa seca aérea, los tratamientos T7 y T8 resultan similares entre sí, siendo superiores significativamente al resto de tratamientos. Un grupo de tratamientos estadísticamente similares conformados por T7, T3, T2 y T4 presentó los mayores valores promedio de biomasa seca radicular, se puede observar también que los tratamientos T3, T2 y T4 también comparten información similar con el tratamiento T6; mientras que, para las observaciones de biomasa fresca aérea, el

tratamiento T7 alcanzo, significativamente, los mayores valores promedio, seguido por el tratamiento T8, que también se diferencia estadísticamente del resto de tratamientos.

Tabla 4

Prueba de diferencia significativa honesta de Tukey, al 5% de significancia, para cada medida observada de las plántulas de Pinus radiata.

Medida	Tratamientos	Promedio	Grupos
Tamaño	T8	16.669	a
	T7	16.008	b
	T6	14.990	c
	T4	13.895	d
	T3	12.306	e
	T2	11.830	f
	T5	9.877	g
	T1	9.074	h
Diámetro	T7	2.093	a
	T3	1.996	b
	T6	1.946	c
	T4	1.928	c
	T8	1.927	c
	T2	1.920	c
	T5	1.715	d
	T1	1.648	e
Biomasa seca aérea	T7	0.450	a
	T8	0.437	a
	T3	0.381	b
	T4	0.375	b
	T2	0.338	c
	T6	0.335	c
	T5	0.273	d
	T1	0.262	d
Biomasa seca radicular	T7	0.207	a
	T3	0.192	a b
	T2	0.186	a b
	T4	0.180	a b c
	T6	0.166	b c d
	T8	0.155	c d e
	T5	0.147	d e
	T1	0.133	e
Biomasa fresca aérea	T7	1.857	a
	T8	1.704	b
	T3	1.552	c
	T4	1.523	c d
	T2	1.399	d e
	T6	1.362	e
	T1	0.997	f
	T5	0.977	f

En la tabla 5, se tienen los resultados de la prueba de Tukey para los valores de los índices de lignificación y calidad de Dickson, considerando un nivel de significancia del 5%. Se puede ver que, para el índice de lignificación, los tratamientos T5, T8, y T7 forman parte del grupo de valores cuyo índice es superior al resto de tratamientos (letra "a"), aunque se puede ver que los tratamientos T8 y T7 también comparten información similar con otro grupo de tratamientos (letra "b") que son T6, T1, T3 y T4. Respecto al índice de calidad de Dickson, los tratamientos T3, T7 y T2, pertenecen al grupo de tratamientos (letra "a") con mayor índice, aunque los tratamientos T7 y T2 también presentan similitud significativa con el tratamiento T4.

Tabla 5

Prueba de diferencia significativa honesta de Tukey, al 5% de significancia, para los índices de lignificación y calidad de Dickson, de las plántulas de Pinus radiata.

Medida	Tratamientos	Promedio	Grupos
Índice de lignificación	T5	26.096	a
	T8	25.133	a b
	T7	24.258	a b
	T6	23.721	b
	T1	22.666	b c
	T3	22.337	b c
	T4	22.242	b c
	T2	20.602	c
Índice de calidad de Dickson (ICD)	T3	6.957	a
	T7	6.568	a b
	T2	6.508	a b
	T4	5.912	b c
	T5	5.444	c d
	T1	5.226	c d
	T8	5.129	c d
	T6	5.101	d

4. Discusión

Porcentaje de supervivencia

Según los resultados obtenidos en la presente investigación, el mayor porcentaje de supervivencia lo obtuvo el T7 (*Suillus luteus* 1g + Basacote Plus 1g) con 98.75% (Figura 4); este resultado guarda relación con lo dicho por Díaz (2004) quien obtuvo una supervivencia muy superior a 93% en plántulas de *P. radiata* inoculadas con *Suillus luteus*. El T1 mostró los valores más bajos de supervivencia (92.50 %) dando entender que la ausencia de las micorrizas en el género de *Pinus* afecta la supervivencia y el desarrollo de las plantas (García *et al.*, 2012).

Altura del tallo

Las plantas que alcanzaron mayor altura corresponden al T7, con un promedio de 16.01 cm, y 9.07 cm con el testigo en un tiempo de 2 meses de ser aplicado el tratamiento (Figura 5). En comparación con Guevara (2019), quien evaluó el parámetro de altura de plántulas de *P. radiata*, inoculando la especie comercial de hongo *Suillus ssp.*, alcanzó una altura promedio de 23.6 cm con el inoculo y 19.4 cm con el testigo en un periodo de 6 meses, por lo que se puede deducir que la investigación superaría considerablemente a los datos de Guevara si transcurriera un periodo de 4 meses más. Resaltando que el hongo *Suillus luteus* ayudó de manera directa en la incidencia del tallo a causa del alto porcentaje de micorrización que posee este hongo, más la unión del fertilizante y sus nutrientes en la dosis correcta hicieron un rápido crecimiento en la planta. Esto concuerda con lo reportado por Vázquez-Cisneros *et al.*, (2018), quienes encontraron que la incorporación de fertilizante de liberación lenta influyó positivamente en el crecimiento de especies del género *Pinus*.

Diámetro al cuello de la raíz

Respecto al diámetro y los resultados obtenidos, el mayor diámetro de la planta de pino fue el tratamiento 7 que alcanzó un promedio de 2.09 cm en un tiempo de 2

meses (Figura 6). Estos resultados son inferiores a los encontrados por Camey (2014), en donde obtuvo en *P. radiata*, un promedio de 2,4 mm de diámetro en 3 meses, aproximándose a los resultados obtenidos por Melgarejo (2017), quien obtuvo un diámetro promedio de 2.7 mm en un tiempo de 5 meses. Los resultados de la presente investigación los superan relativamente, porque son obtenidos en un periodo menor. La micorriza contribuyó en el diámetro por el fenómeno fisiológico de la simbiosis que tiene el hongo y la planta con la absorción de nutrientes y agua, y el fertilizante proporcionó los nutrientes, ya que el fertilizante al ser disuelto actuó de una forma más rápida. De modo que el sustrato con Basacote Plus 3M ayuda al incremento del 50% de mayor grosor de tallo de la planta.

Peso de la biomasa fresca y seca aérea

Respecto a la biomasa fresca aérea, se puede ver que con el tratamiento T7 se obtienen plántulas con mayor biomasa promedio (1.86 g) seguido por el tratamiento T8 (1.70 g); mientras que los tratamientos T5 y T1 proporcionan plántulas con menor biomasa, en promedio (Figura 8). La biomasa seca de la parte aérea varió de 0.21 a 0.13g, sobresaliendo nuevamente el T7. Este tratamiento de inoculante más fertilización media produjeron mayor biomasa aérea, por ende, el peso. Resultados inferiores a la investigación de Guevara (2019), quien obtuvo un peso de 1.53 g y testigo 1.35g en la biomasa fresca y 1.01 g y testigo 0.86 g en biomasa seca, estas diferencias del peso seco de la parte aérea varían depende a los métodos de micorrización empleados. En este estudio se utilizó tierra agrícola y el hongo *Suillus luteus* comercial, mientras que Guevara utilizó la inoculación de tierra micorrizada y el hongo *Suillus luteus* fresco, permitiendo afirmar que los métodos de micorrización influyen en el peso, tal como corrobora Gómez (2016), donde tuvo mejor peso seco del área foliar inoculando con extracto fresco proveniente del sombrero de hongos micorrizicos. Además, Fernández (2013), indica que a través de la utilización de Hongos

Micorrizicos Arbusculares se optimiza la absorción de nutrientes como el nitrógeno N, K, P, proporcionados por el Basacote Plus lo cual repercute en una mayor producción de biomasa. La deficiencia de nitrógeno en plantas disminuye su crecimiento las hojas son pequeñas y tampoco se puede sintetizar clorofila; de este modo, aparece clorosis (hojas de color amarillo) como ha sido observado en las plantas del grupo testigo.

Biomasa fresca y seca radicular

Con respecto a los valores de la biomasa seca radicular, se tiene que, aquellas plántulas tratadas con T7 y T1 son las que presentan mayor y menor biomasa en promedio (0.21 y 0.13 g respectivamente); resultados inferiores a la investigación de Guevara (2019), quien obtuvo un peso de 1.01 g y testigo que alcanzó 0.86 g de peso seco de la parte aérea del plantón. Estas diferencias se deben a la formación de las micorrizas entre las raicillas de las plántulas y las hifas de *S. luteus*. Al darse la inoculación del fertilizante en una dosis media y la micorriza formó una mayor capacidad de adherencia de absorción de fosforo aumentando el crecimiento de las raíces, lo que se atribuye que la micorriza modifica la raíz e incrementa el peso.

Índice de lignificación

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos para el índice de lignificación tenemos que los tratamientos 5 y 8 se encuentran dentro de los parámetros que Prieto *et al.* (2009) proponen como índices adecuados, los cuales refieren que son de calidad cuando presentan valores de 25 a 30 %. A su vez el T7 presenta un índice de lignificación muy cercano a estos niveles.

Índice de Calidad de Dickson

Respecto a los resultados obtenidos al índice de calidad de Dickson tenemos que el T3 presenta mayor valor en promedio (6.96) siendo este resultado similar a lo obtenido por Salcido-Ruiz *et al.*, (2021), el cual su tratamiento con una composición similar de fertilizante al T3 fue el que obtuvo mayor valor de este índice respecto

a los demás tratamientos, siendo este un parámetro positivo de calidad de la planta.

5. Conclusiones

- El T7 (15 mL de agua + 1g Micorriza + 1g Basacote Plus) es el tratamiento óptimo para aumentar el crecimiento y mejorar la calidad de las plántulas de *Pinus radiata* en fase de vivero, lo cual repercute en la supervivencia de la especie en campo definitivo.
- En el desarrollo vegetativo de las plántulas el tratamiento 7 presentó los mejores resultados en cuanto a la supervivencia (98.75 %) y diámetro al cuello de la raíz (2.09), y el T8 con respecto a la altura del tallo (16.67).
- El T7 y T2 obtuvieron los mejores valores respecto al peso de la biomasa fresca aérea y radicular (1.86 g y 0.45 g); y el T7 en relación a la biomasa seca aérea y radicular (0.45 g y 0.21 respectivamente).
- El T5 permitió los índices de lignificación más altos (25.06), y el T3 con respecto a el índice de calidad de Dickson (6.57) en un periodo de 60 días.

6. Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Jaén por permitirnos hacer uso de sus instalaciones y equipos.

Al vivero forestal del distrito de la municipalidad de Chirinos, provincia de San Ignacio, Cajamarca.

7. Contribución de los autores

ASMV; Trabajo de campo y laboratorio, obtención de datos, OLSH: Trabajo de campo y laboratorio, obtención de datos, LMCR: En la concepción y el diseño del estudio, JCR; En la concepción, el diseño del estudio, redacción del manuscrito, ACC: Diseño del estudio y revisión final, SNCR: En el análisis y la interpretación de los datos, análisis estadístico.

8. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

9. Referencias Bibliográficas

- Ancco, Y. (2019). Evaluación del inoculo micorrizal del hongo *Boletus Edulis* en la producción de plantones de *Pinus radiata* Don. en Andahuaylas. (Tesis de título profesional). Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco. 11 p.
- Camargo-Ricalde, S; Manuel, N; De la Rosa-Mera, C. y Montaña, A. (2012). «Micorrizas: Una gran unión debajo del suelo». *Revista Digital Universitaria*.13 (7).
- Camey, L. (2014). Evaluación de seis dosis de ectomicorrizas sobre la calidad de planta de pino en vivero. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, san Francisco, Jutiapa, Guatemala.
- Díaz, G. (2004) Utilización de micorrización controlada en la reforestación de un suelo agrícola con *Pinus carrasco*, III congreso latinoamericano de micología, Murcia, España.
- Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F. (1960) Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *Forest Chronicle*, 36, 10-13. - References - Scientific Research Publishing. (2014). Scirp.org.
- Fernández C, (2013). Efectividad Biológica de Especies Nativas de Hongos Micorrízicos Arbusculares en Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.). Tesis Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. 62 p.
- García, R. J. L., Sarmiento, L. H., Sierra, A. D., & Mejía, B. J. M. (2012). Hongos silvestres ectomicorrízicos de bosques templados de los municipios de Pueblo Nuevo, San Dimas y Durango, Durango. México: Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP-SAGARPA. Retrieved from <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/3539>.
- García, D. (2017). Micorrizas, los biofertilizantes del futuro que vienen del pasado / *Intagri* S.C. Intagri.com. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/micorrizas-biofertilizantes-del-futuro-que-vienen-del-pasado>.
- Gómez, M. (2016), Crecimiento de plántulas de pino (*Pinus radiata* D. Don) bajo la acción del extracto de hongos micorrízico (*Boletus Edulis*) en condiciones de vivero. (Tesis de pregrado) Chuquibambilla -Grau - Apurímac. 252p.
- Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Saenz-Romero, C., & Villegas, J. (2015). Effect of inoculation and fertilization with phosphorus in the survival and growth of *Pinus pseudostrobus*, in eroded acrisols. *Ecological Engineering*, 82, 400-403. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.025>
- Guevara, M. (2019). Inoculación con dosis de tierra micorrizada y *Suillus Luteus* comercial en la producción de plantones de *Pinus radiata* D. Don, en Paquecc (2510 msnm), Huanta – Ayacucho. (Tesis de título profesional). Universidad Nacional De San Cristóbal de Huamanga.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (6ta ed.). Hill Interamericana Editores S.A.
- Kulmann, M. S. de S., Aguilar, M. V. M., Tassinari, A., Schwalbert, R., Tabaldi, L. A., Araujo, M. M., Antonioli, Z. I., Nicoloso, F. T., Brunetto, G., & Schumacher, M. V. (2023). Effects of increasing soil phosphorus and association with ectomycorrhizal fungi (*Pisolithus microcarpus*) on morphological, nutritional, biochemical, and physiological parameters of *Pinus taeda* L. *Forest Ecology and Management*, 544, 121207. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121207>
- Melgarejo, R. (2017). Producción de plantones de pino con cuatro tipos de micorrización. (Tesis de investigación) en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, región Anchas.124p.
- Nehls, U., & Plassard, C. (2018). Nitrogen and phosphate metabolism in ectomycorrhizas. *New Phytologist*, 220(4), 1047-1058. <https://doi.org/10.1111/nph.15257>
- Prieto, R. J. A., García, R. J. L., Mejía, B. J. M., Huchín, A. S., & Aguilar, V. J. L. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. (1.a ed.). Durango, México: Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP
- Rodríguez T., D. A. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal.MX, Mundi Prensa México.MX. 156 p.
- Salcido-Ruiz, S., Prieto-Ruiz, J. A., García-Rodríguez, J. L., Santana-Aispuro, E., & Chavez-Simental, J. A. (2021). Mycorrhiza and fertilization: effect on the production of *Pinus engelmannii* Carr. in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, 28(3), 327–342.
- Vázquez-Cisneros, I., Prieto-Ruiz, J. A., López-López, M. A., Wehenkel, C., Domínguez-Calleros, P. A., & MuñozSáez, F. E. (2018). Growth and survival of plantation of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* under different fertilization treatments.