

CALIDAD MORFOLÓGICA Y BIOLÓGICA DE *Pinus radiata* D. Don, MICORRIZADO CON *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. Y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. EN CONDICIONES DE VIVERO

MORPHOLOGICAL AND BIOLOGICAL QUALITY OF *Pinus radiata* D. Don, MYCORRHIZED WITH *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. AND *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. IN GREENHOUSE CONDITIONS

Marco Rodríguez-Carrillo¹ y Nery Santillana²

Resumen

Se evaluó el efecto de *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. sobre la calidad morfológica y biológica de plantas de *Pinus radiata* D. Don en vivero en Vilcashuamán, Ayacucho, Perú. Tratamientos: (1) Micorrización con *Scleroderma verrucosum*, (2) Micorrización con *Rhizopogon luteolus*, (3) Mezcla de ambos hongos y (4) Control, en un diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Los hongos provinieron de bosques de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* de la localidad. La inoculación se realizó en el repique a los 30 días de siembra y la evaluación a los 7.5 meses después del repique. Los pinos micorrizados superaron con diferencias significativas al control en todas las variables. En el diámetro del cuello y materia seca de la parte aérea de los inoculados no presentaron diferencias significativas; sin embargo, en altura, materia seca de la raíz y materia seca total destacó el tratamiento Mezcla. En la calidad biológica se observó mayor número de micorrizas en los inoculados, con diferencias significativas frente al control sin micorrizar. Se evidenció mayor porcentaje de micorrizas monopediales (91%) en relación a los dicotómicos (8.5%) y coraloides (0.6%). Se determinaron relaciones positivas significativas entre las variables morfológicas, pero éstas sobre *P. radiata* presentaron asociaciones no significativas con el número de micorrizas. El uso individual y en mezcla de hongos ectomicorrízicos silvestres incrementó la calidad morfológica y biológica de *P. radiata*, por ello se recomienda la aplicación de estos hongos para la producción de plántulas en viveros de Vilcashuamán y otras zonas altoandinas.

Palabras clave: simbiosis ectomicorrízica, pinos, inoculación, micorrizas.

Abstract

The effect of *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers and *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. was evaluated on the morphological and biological quality of *Pinus radiata* D. Don plants in a nursery in Vilcashuaman, Ayacucho, Peru. Treatments: (1) Mycorrhization with *Scleroderma verrucosum*, (2) Mycorrhization with *Rhizopogon luteolus*, (3) Mixture of both fungi, and (4) Control, in a completely randomized design with 10 repetitions per treatment. The fungi came from local *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* forests. The inoculation was carried out in the peal at 30 days of sowing and the evaluation at 7.5 months after the peal. The mycorrhizal pines outperformed the control with significant differences in all the variables evaluated. In the stem neck diameter and dry matter of the aerial part, the inoculated treatments did not present significant differences; however, in the height, dry matter of the root, and total dry matter, the Mixture treatment stood out. In the biological quality, a greater number of mycorrhizae was observed in the inoculated, with significant differences compared to the control without mycorrhizae. A higher percentage of monopodial mycorrhizae (91%) was evidenced in relation to dichotomous (8.5%) and coralloid (0.6%) types. Significant positive relationships were determined between the morphological variables, but these on *P. radiata* presented non-significant associations with the number of mycorrhizae. The individual and in mixture use of wild ectomycorrhizal fungi increased the morphological and biological quality of *P. radiata*; therefore, the application of these fungi is recommended for the production of seedlings in nurseries in Vilcashuaman and other high-Andean areas.

Key words: ectomycorrhizal symbiosis, pines, inoculation, mycorrhizae.

Introducción

Las especies de *Pinus* se han naturalizado en muchas partes del mundo. En el Perú, *Pinus radiata* y *Pinus patula* han sido introducidas con fines de forestación y reforestación en las zonas andinas (MINAM, 2019). En la actualidad, constituyen una

fuerza de madera y de ingreso económico para las comunidades, además de brindar beneficios al ambiente por ser parte de los ciclos de carbono, agua y nutrientes (FAO & PNUMA, 2020). Los pinos son árboles dependientes de los hongos ectomicorrízicos, por lo tanto, su crecimiento, establecimiento y

supervivencia dependen de estos hongos, cuya falta podría conducir al fracaso de las plantaciones de pinos (Barragán *et al.*, 2018; Lofgren *et al.*, 2018; López *et al.*, 2018; Ning *et al.*, 2019). La presencia abundante y diversa de los hongos ectomicorrízicos en suelos pobres de nutrientes sugiere que éstos optimizarían la nutrición de las plantas, la absorción de agua, la resistencia a diferentes condiciones de estrés, protección contra patógenos de las raíces y contribuirían al mantenimiento de bosques tropicales monodominantes (García *et al.*, 2017a; Hortal *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2017; Corrales *et al.*, 2018; Albornoz *et al.*, 2020; Liang *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020).

La provincia de Vilcashuamán de la Región Ayacucho, al igual que otras regiones de la sierra peruana, cuenta con potencial forestal; sin embargo, a nivel de campo definitivo, las plantas de pino presentan más de 50% de tasa de mortalidad (PRONAMACHS, 1998) debido principalmente a la falta de disponibilidad de inóculo ectomicorrízico, lo cual limita la micorrización de plantas de vivero con sus simbiontes naturales. En la región no se cuenta con inóculos a base de micelio (Ángeles *et al.*, 2020), por lo que inóculos de hongos de la zona, a base de esporas o pileus molidos (Barragán *et al.*, 2018; López *et al.*, 2018), son una alternativa factible para viveros comunales.

La investigación se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de la inoculación de *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. en la calidad morfológica (altura, diámetro del cuello del tallo, materia seca de la parte aérea y de la raíz) y biológica (número y tipo de micorrizas) de plantas de *Pinus radiata* D. Don en condiciones de vivero de la provincia de Vilcashuamán, Región Ayacucho, Perú.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica y características del lugar del ensayo

La investigación se realizó en el vivero forestal de Vilcashuamán, ubicado a una elevación de 3 520 msnm, cuyas coordenadas son 13° 39'03" S y 73° 57'08" O. Políticamente se encuentra ubicado en el distrito de Vilcashuamán, provincia de Vilcashuamán Región Ayacucho, Perú, a 115 km de la ciudad de Ayacucho. La temperatura varía de 6 a 20 °C y la precipitación media anual es de 750 mm.

Recolección de semillas de *Pino radiata*

La recolección de semillas contenidas en piñas, conos o estróbilos se realizó de plantaciones del Centro Poblado San Juan de Chito del distrito de Vilcashuamán, a una elevación de 3 603 msnm, cuyas coordenadas son 13° 38' 28.3" S y 73° 55' 31.6" O. Los estróbilos se dejaron secar al Sol hasta el desprendimiento de las semillas; luego, éstas fueron almacenadas hasta el momento de su utilización.

Almácigo de semillas

El sustrato para el almácigo de semillas se preparó con tierra negra y arena (3:1) que fue desinfectado con agua caliente a 70 °C y colocado en recipientes de madera (2.40 x 1 x 0.20 m) forradas con plástico. Se utilizaron 100 g de semilla por m².

Sustrato para repique de plántulas

Para el repique de las plántulas se preparó el mismo sustrato utilizado para el almácigo de semillas con la diferencia de que, en este caso, no se procedió a desinfectar con la finalidad de utilizar la técnica de las comunidades andinas.

El sustrato preparado se colocó en bolsas de polietileno de 13 x 18 cm; éstas fueron etiquetadas y distribuidas en las camas de repique de acuerdo a los tratamientos.

Producción del inóculo micorrízico

La recolección de cuerpos fructíferos, pertenecientes a los hongos ectomicorrízicos *Scleroderma verrucosum* y *Rhizopogon luteolus*, se realizó en plantaciones comunales de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* de la provincia de Vilcashuamán. Se colocaron en bolsas de papel, luego fueron secados a la sombra y molidos hasta alcanzar partículas de 1 mm de tamaño. Se seleccionaron los hongos *Scleroderma verrucosum* y *Rhizopogon luteolus* por ser hongos que se asocian con el pino (Atala *et al.*, 2012; García *et al.*, 2017b), producen esporas en gran cantidad dentro de sus cuerpos fructíferos o esporocarpos, y son de fácil recolección, almacenado y aplicación en viveros forestales comunales. Madejón *et al.* (2021) recomienda la micorrización de plantas de pino con hongos de la zona, debido a que están adaptados a esas condiciones.

Repique e inoculación

Con la ayuda de un repicador se realizó un hoyo en el centro de cada una de las bolsas, previamente regadas el día anterior. En cada hoyo se colocó una plántula de pino, con 30 días de crecimiento después de la siembra, extraída de la cama de almácigo y seleccionada considerando el tamaño y desarrollo radicular uniforme. Las plántulas fueron colocadas con la raíz recta y cubiertas con tierra de sustrato hasta la tercera parte de la raíz. Enseguida se procedió a realizar la inoculación utilizando una cucharita pequeña, desinfectada y confeccionada para tal fin, que contenía aproximadamente 14 mg de cuerpo fructífero molido, siendo luego cubiertos con sustrato y regados utilizando agua sin cloro. Para el tratamiento Mezcla se utilizaron 7 mg de cada tipo de hongo.

Los tratamientos fueron distribuidos utilizando el diseño completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento.

Labores culturales

De acuerdo con las necesidades de las plantas se realizaron las labores de riego y deshierbe hasta la finalización del experimento.

VARIABLES EVALUADAS

La evaluación se realizó a los 7.5 meses después del repique, considerando como calidad morfológica la altura de la parte aérea (cm), diámetro del tallo a la altura del cuello de la planta (mm), materia seca de la parte aérea y de la raíz (g), y como calidad biológica el número y tipos de micorrizas presentes en la raíz de acuerdo a Garibay *et al.* (2013).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y a la comparación de medias de Duncan ($P = 0.05$) utilizando el programa estadístico INFOESTAT 2014. Además, se determinaron correlaciones de Pearson entre las variables evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad morfológica

Los resultados obtenidos, a los 7.5 meses después de la inoculación, indican que todos los tratamientos inoculados superaron con diferencias significativas al control sin inocular (Tabla 1). El tratamiento Mezcla (*S. verrucosum* y *R. luteolus*) destacó en todas las variables evaluadas, con valores de 18.51 cm en altura, 2.89 mm de diámetro del cuello, 0.74 g de materia seca de la parte aérea, 0.48 g de materia seca de la raíz y 1.21 g de materia seca total, mientras que el control presentó valores de 10.24 cm, 2.15 mm, 0.35, 0.23 y 0.58 g, respectivamente. Entre los tratamientos inoculados no se encontraron diferencias significativas en las variables diámetro del cuello y materia seca de la parte aérea. En el resto de variables (altura, materia seca de la raíz y materia seca total) destacó el tratamiento Mezcla de *S. verrucosum* y *R. luteolus* (Figura 1A). Estos resultados indican que las plantas de pino pueden ser micorrizadas con los hongos evaluados de manera individual o en mezcla. Al respecto, Rentería *et al.* (2017) mencionan la importancia de la selección de las combinaciones óptimas de los hongos y plantas ya que existen hongos que originan mayores beneficios en relación con otros, en una especie hospedera dada, debido posiblemente a la especificidad planta - hongo.

Los efectos del tratamiento Mezcla posiblemente se deban a la acción sinérgica entre ambas especies de hongos ectomicorrízicos y puede generar mayor resistencia a factores ambientales adversos y favorecer la sobrevivencia de la planta y de los hongos (Köhler *et al.*, 2018; Horimai *et al.*, 2020). Al respecto, Chávez *et al.* (2014) también determinaron que el inoculante formulado con la mezcla *Coriopolis rigida* y *Rhizopogon luteolus* produjo plantas de *P. radiata* con mayores índices de calidad bajo condiciones de invernadero.

Los resultados obtenidos en los tratamientos inoculados fueron similares a los observados por otros autores en la producción de pinos. Chávez *et al.* (2009) encontraron un efecto favorable en el crecimiento de *P. radiata* cuando realizaron la micorrización

controlada con *Rhizopogon luteolus* en condiciones de vivero. Steffen *et al.* (2017) también informan sobre el efecto positivo de la micorrización con *Scleroderma citrinum* en el crecimiento de *Pinus elliottii* y *Pinus rigida*.

Respecto a las variables evaluadas, Orosco *et al.* (2010) mencionan que la altura del tallo de las plantas es un indicador de la superficie fotosintética y representa su capacidad para almacenar carbohidratos; el diámetro del cuello de las plantas permite predecir la supervivencia de la planta en campo, define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y el éxito de la plantación. Asimismo, indica que el peso de la materia seca de la planta tiene correlación con la supervivencia en campo, cuando existe un mayor peso radicular la planta tiene mayor porcentaje de supervivencia. Escobar & Rodríguez (2019) señalan que el diámetro del cuello y la altura son los atributos morfológicos más utilizados, seguidos de la relación entre peso seco parte aérea y peso seco de raíces.

Tabla 1. Variables morfológicas de plantas de *Pinus radiata* D. Don inoculadas con *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. en condiciones de vivero.

Tratamientos	Altura (cm)	Diámetro cuello (mm)	Materia seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
<i>Scleroderma Verrucosum</i>	15.52 b	2.82 a	0.66 a	0.42 ab	1.08 ab
<i>Rhizopogon Luteolus</i>	15.30 b	2.70 a	0.63 a	0.37 b	1.01 b
Mezcla	18.51 a	2.89 a	0.74 a	0.48 a	1.21 a
Control	10.24 c	2.15 b	0.35 b	0.23 c	0.58 c
Coefficiente de Variabilidad	9.35	8.47	23.05	24.6	21.8

Tratamientos unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, de acuerdo a la Prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Calidad biológica

En la presente investigación se observó mayor número de micorrizas en los tratamientos micorrizados con relación al tratamiento sin micorrizar (Tabla 2, Figura 1A). La inoculación con *S. verrucosum* presentó mayor número de micorrizas, superando con diferencias significativas a los tratamientos *R. luteolus* y Mezcla. Martínez *et al.* (2015) indican que la existencia de micorrizas en las raíces de las plantas es un criterio para evaluar la calidad de la planta destinada a los programas de reforestación. Por su parte, Salcido *et al.* (2020) consideran que la presencia de ectomicorrizas funciona como un mecanismo de nutrición auxiliar, donde el micelio externo favorece una mayor exploración en el suelo.

La observación de micorrizas incipientes en el tratamiento control podría deberse a la presencia de ectomicorrizas nativas puesto que el sustrato utilizado no fue esterilizado debido a que se quiso utilizar la metodología de los comuneros de la zona para la producción de plántones de pinos. La presencia de micorrizas en plantas control también fue observada por autores como López *et al.* (2018), quienes encontraron micorrizas incipientes en plantas no micorrizadas de *Pinus pringlei* en un experimento con los hongos ectomicorrízicos *Hebeloma alpinum*, *Laccaria trichodermophora* y *Thelephora terrestre*. Estos resultados sugieren que es importante la micorrización de los pinos ya que, en los suelos, el desarrollo de las ectomicorrizas nativas se podría retrasar debido a diferentes factores como la condición del suelo, tal como observaron Salcido *et al.* (2020).

Tabla 2. Número total de micorrizas y porcentaje de tipos de micorrizas en plantas de *Pinus radiata* D. Don inoculadas con *Scleroderma verrucosum* (Vaill) Pers. y *Rhizopogon luteolus* Fr. & Nordh. en condiciones de vivero.

Tratamientos	N° Micorrizas Total	% Tipos de Micorriza		
		Monopodial	Dicotómica	Coraloide
<i>Scleroderma verrucosum</i>	668.5 a	95.1	4.9	0
<i>Rhizopogon luteolus</i>	563.8 b	94.8	4.8	0.4
Mezcla	523.2 b	76	23.2	0.8
Control	323.5 c	99	1	0
Coefficiente de Variabilidad	21.88			

Tratamientos unidos por la misma letra no presentan diferencias significativas, de acuerdo a la Prueba de Duncan ($P < 0.05$).

Al evaluar los tipos de micorrizas se observó mayor porcentaje de monopodiales (Tabla 2, Figuras 1B, 1C) en relación a los tipos dicotómicos (Tabla 2, Figura 1D) y coraloides, en todos los tratamientos, excepto en el de mezcla. En este último, se observaron 23.2% de micorrizas dicotómicas en relación a las micorrizaciones individuales en las que se observaron 4.9 y 4.8% para *S. verrucosum* y *R. luteolus*, respectivamente. Carrasco *et al.* (2010) y Galindo *et al.* (2015) mencionan que existen diferencias morfológicas entre las raíces ectomicorrizadas con diferentes especies de hongos, lo que no se observó en la presente investigación. Sin embargo, Baseia & Milanéz (2002) y Miyamoto *et al.* (2019) reportan también micorrizas monopodiales en árboles de la familia Pinaceae inoculados con *Rhizopogon*. Galindo *et al.* (2015) mencionan que el tipo de micorrizas en plantas de

Pinus montezumae, inoculadas con *Laccaria trichodermophora*, podía variar de acuerdo con la edad de las plantas; en etapa inicial indican ramificaciones dicotómicas o bifurcadas y en etapa madura, micorrizas con una morfología coraloide.

Al realizar observaciones microscópicas se presenció el manto fúngico y la red de Harting en las raíces micorrizadas (Figura 1E), evidenciando la presencia de la asociación ectomicorrízica.



Figura 1. (A) Desarrollo de la parte aérea y radicular de plantas de *Pinus radiata* D. Don; (B) raíz micorrizada; (C) micorrizas monopodiales; (D) micorrizas dicotómicas; (E) corte longitudinal donde se observa el manto fúngico y la red de Harting.

Al determinar el coeficiente de correlación de Pearson ($p < 0.05$) entre las variables de la calidad morfológica y el número de micorrizas, se determinaron coeficientes desde 0.96 hasta 0.99 entre las variables de la calidad morfológica (altura, diámetro, peso materia seca de la parte aérea y de la raíz) con niveles de significación entre 0.001 y 0.039, lo que indica una relación lineal entre las variables

evaluadas; sin embargo, al relacionarlas con la variable de calidad biológica (N° de micorrizas) se determinaron coeficientes de correlación entre 0.69 a 0.86 estadísticamente no significativos (0.13 - 0.30), indicando que la relación no es lineal. Estos resultados demuestran que la calidad morfológica de las plantas de pino micorrizadas no depende de la calidad biológica (número de micorrizas), afirmación que se efectúa al comparar los resultados de las Tablas 1 y 2. Los resultados de la calidad morfológica (Tabla 1) muestran que el tratamiento Mezcla presentó los valores más altos con respecto a los tratamientos con *S. verrucosum* y *R. luteolus*, en tanto que en la Tabla 2 (número de micorrizas) el tratamiento Mezcla presentó el menor número de micorrizas entre los tratamientos micorrizados. Al respecto, Chávez *et al.* (2014), entre otros, indican la importancia de seleccionar hongos que produzcan mayor beneficio a la planta, independientemente del grado de colonización en el sistema radical. En la presente investigación, el tratamiento Mezcla ha sido considerado como el que ejerce mejor calidad morfológica.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que los hongos micorrízicos *Scleroderma verrucosum* y *Rhizopogon luteolus* procedentes de bosques del Centro poblado de San Juan de Chito del distrito de Vilcashuamán en Ayacucho, Perú, incrementan significativamente la calidad morfológica (altura, diámetro, materia seca de la parte aérea, materia seca de la raíz, materia seca total) y biológica (número de micorrizas) de *Pinus radiata* D. Don en condiciones de vivero. La mezcla de ambos hongos incrementó la altura, materia seca de la raíz y materia seca total de *P. radiata*; por lo tanto, se recomienda el uso de los cuerpos fructíferos o esporocarpos de los hongos evaluados como inóculos para micorrizar plántulas en viveros de las comunidades altoandinas, pues, además de incrementar la calidad morfológica y biológica de *P. radiata*, están adaptados a las condiciones ambientales de la zona.

Literatura citada

Albornoz F.E., Dixon K.W. & Lambers H. 2020. Revisiting mycorrhizal dogmas: are mycorrhizas really functioning as they are widely believed to do? *Soil Ecology Letters*, 3(1): 73-82. <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0070-2>.
 Ángeles-Argáiz R.E., Carmona-Reyes I.A., Quintero-Corrales C.A., Medina-Macías F.J., Blancas-Cabrera A., Valdez-Cruz A.A., Ulloa M., Trujillo-Roldán M.A. & Garibay-Orijel R. 2020. From field sampling to pneumatic bioreactor mycelia production of the ectomycorrhizal mushroom *Laccaria trichodermophora*. *Fungal Biology*, 124 (3-4): 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2020.02.003>.

Atala C., Muñoz-Capponi E., Pereira G., Navarrete E., Osés R. & Molina-Montenegro M. 2012. Impact of mycorrhizae and irrigation in the survival of seedlings of *Pinus radiata* D. Don subject to drought. *Gayana Bot.*, 69(2): 296-304. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/gbot/v69n2/art09.pdf>.
 Barragán-Soriano J.L., Pérez-Moreno J., Almaraz-Suárez J.J., Carcaño-Montiel M.G. & Medrano-Ortiz K.I. 2018. Inoculation with an edible ectomycorrhizal fungus and bacteria increases growth and improves the physiological quality of *Pinus montezumae* Lamb. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(1): 3-16. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.01.010>.
 Baseia I.G. & Milanez A.I. 2002. *Rhizopogon* (Rhizopogonaceae): Hypogeous fungi in exotic plantations from the state of Sao Paulo, Brazil. *Acta Botánica Brasílica*, 16(1): 55-59. DOI: 10.1590/S0102-33062002000100007.
 Carrasco-Hernández V., Pérez-Moreno J., Espinosa-Hernández V., Almaraz-Suárez J.J., Quintero-Lizaola R. & Torres M. 2010. Caracterización de micorrizas establecidas entre dos hongos comestibles silvestres y pinos nativos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4): 567-577. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v1n4/v1n4a9.pdf>
 Chávez D., Pereira G. & Machuca A. 2009. Efecto de tipos de inóculos de tres especies fúngicas en la micorrización controlada de plántulas de *Pinus radiata*. *Bosque (Valdivia)*, 30(1): 4-9. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002009000100002>.
 Chávez D., Pereira G. & Machuca A. 2014. Estimulación del crecimiento en plántulas de *Pinus radiata* utilizando hongos ectomicorrízicos y saprobios como biofertilizantes. *Bosque (Valdivia)*, 35(1): 57-63. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002014000100006>.
 Corrales A., Henkel T.W. & Smith M.E. 2018. Ectomycorrhizal associations in the tropics – biogeography, diversity patterns and ecosystem roles. *New Phytologist*, 220(4): 1076–1091. <https://doi.org/10.1111/nph.15151>.
 MINAM. 2019. Línea de base de especies forestales (*Pinus* sp. y *Eucalyptus* sp.) con fines de bioseguridad. MINAM (Ministerio del Ambiente). https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB_-Forestales.pdf.
 Escobar-Alonso S. & Rodríguez-Trejo D. 2019. Estado del arte en la investigación sobre calidad de planta del género *Pinus* en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(55): 4-38. <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v10i55.558>.
 FAO & PNUMA. 2020. El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>.
 Galindo-Flores G., Castillo-Guevara C., Campos-López A. & Lara C. 2015. Caracterización de las ectomicorrizas formadas por *Laccaria trichodermophora* y *Suillus tomentosus* en *Pinus montezumae*. *Botanical Sciences*, 93(4): 855-863. <https://doi.org/10.17129/botsoci.200>.

- García-Guzmán O.M., Garibay-Orijel R., Hernández E., Arellano-Torres E. & Oyama K. 2017a. Word-wide meta-analysis of *Quercus* forests ectomycorrhizal fungal diversity reveals southwestern Mexico as a hotspot. *Mycorrhiza*, 27: 811-822. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0793-9>.
- García-Rodríguez J.L., Pérez-Moreno J., Ríos-Leal D., Saez-Delgado P., Atala-Bianchi C., Sánchez-Olate M. & Pereira-Cancino G. 2017b. *In vitro* growth of ectomycorrhizal fungi associated with *Pinus radiata* plantations in Chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(4): 415-431. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61054247006>.
- Garibay-Orijel R., Morales-Marañón E., Domínguez-Gutiérrez M. & Flores-García A. 2013. Caracterización morfológica y genética de las ectomicorrizas formadas entre *Pinus montezumae* y los hongos presentes en los bancos de esporas en la Faja M Volcánica Transmexicana. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1): 153-169. <http://dx.doi.org/10.7550/rmb.29839>.
- Horimai Y., Misawa H., Suzuki K., Fukuda M., Furukawa H., Masuno K., Yamanaka T. & Yamada A. 2020. Sibling spore isolates of *Tricholoma matsutake* vary significantly in their ectomycorrhizal colonization abilities on pine hosts in vitro and form multiple intimate associations in single ectomycorrhizal roots. *Fungal Ecology*, 43: 100874. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.100874>.
- Hortal S., Plett K.L., Plett J.M., Cresswell T., Johansen M., Pendall E. & Anderson I.Ch. 2017. Role of plant-fungal nutrient trading and host control in determining the competitive success of ectomycorrhizal fungi. *The ISME Journal*, 11: 2666-2676. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.116>.
- Köhler J., Yang N., Pena R., Raghavan V., Polle A. & Meier I.C. 2018. Ectomycorrhizal fungal diversity increases phosphorus uptake efficiency of European beech. *New Phytologist*, 220(4): 1200-1210. <https://doi.org/10.1111/nph.15208>.
- Liang M., Johnson D., Burslem F.R.P., Yu Sh., Fang M., Taylor J.D., Taylor A., Helgason Th., Liu X. 2020. Soil fungal networks maintain local dominance of ectomycorrhizal trees. *Nature Communications*, 11: 2636. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16507-y>.
- Liu Y., Li X. & Kou Y. 2020. Ectomycorrhizal Fungi: Participation in Nutrient Turnover and Community Assembly Pattern in Forest Ecosystems *Forests*, 11(4): 453. <https://doi.org/10.3390/f11040453>.
- Lofgren L., Nguyen N.H. & Kennedy P.G. 2018. Ectomycorrhizal host specificity in a changing world: can legacy effects explain anomalous current associations? *New Phytologist*, 220(4): 1273-1284. <https://doi.org/10.1111/nph.15008>.
- López-Gutiérrez A., Pérez-Moreno J., Hernández-Santiago F., Uscanga-Mortera E., García-Esteva A., Cetina-Alcalá V., Cardoso-Villanueva M. & Xocoostle-Cázares B. 2018. Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences*, 96(2): 286-304. <https://doi.org/10.17129/botsci.1239>.
- Madejón P., Navarro-Fernández C.M., Madejón E., López-García A. & Marañón T. 2021. Plant response to mycorrhizal inoculation and amendments on a contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 789: 147943. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147943>.
- Martínez-Nevárez L.E., Sarmiento L.H., Sigala J., Rosales M.S. & Montoya A.J. 2015. Respuesta a la inoculación inducida de *Russula delica* Fr. en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(33): 108-117. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v7n33/2007-1132-remcf-7-33-00108.pdf>.
- Miyamoto Y., Maximov T., Sugimoto A. & Nara K. 2019. Discovery of *Rhizopogon* associated with *Larix* from northeastern Siberia: Insights into host shift of ectomycorrhizal fungi. *Mycoscience*, 60(5): 274-280. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2019.03.003>.
- Ning Ch., Mueller G.M., Egerton-Warburton L.M., Xiang W. & Yan W. 2019. Host Phylogenetic Relatedness and Soil Nutrients Shape Ectomycorrhizal Community Composition in Native and Exotic Pine Plantations. *Forests*, 10(3): 263. <https://doi.org/10.3390/f10030263>.
- Orosco G., Muñoz F., Rueda A., Sigala J., Prieto J. & García J. 2010. Diagnóstico de calidad de planta en los viveros forestales del Estado de Colima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(2): 134-145. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000200011.
- PRONAMACHS. 1998. Aspectos fitosanitarios y micorríticos en viveros forestales en la Sierra Peruana 1996-1997. Proyecto Forestería en Microcuencas Altoandinas del Pronamachs Femap FAO/GCP/033/Net Donación del Gobierno del Reino de los países Bajos Holanda. Perú.
- Rentería-Chávez M., Pérez-Moreno J., Cetina-Alcalá V., Ferrera-Cerrato R. & Xocoostle-Cázares B. 2017. Transferencia de nutrientes y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. inoculado con hongos comestibles ectomicorrízicos en dos sustratos. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(1): 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.004>.
- Salcido-Ruiz S., Prieto-Ruiz J.A., García-Rodríguez J.L., Santana-Aispuro E. & Chávez-Simental J.A. 2020. Mycorrhiza and fertilization: effect on the production of *Pinus engelmannii* Carr. in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(3): 327-342. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.11.080>.
- Steffen G.P.K., Steffen R.B., Matos de Moraes R., Saldanha C.W., Maldaner J. & Loiola M. 2017. *Parapiptadenia rigida* mycorrhization with spores of *Scleroderma citrinum*. *CERNE*, 23(2): 241-248. <https://doi.org/10.1590/01047760201723022342>.
- Torres-Aquino M., Becquer A., Le Guerneve C., Louche J., Amenc L.K., Staunton S., Quiquampoix H. & Plassard C. 2017. The host plant *Pinus pinaster* exerts specific effects on phosphate efflux and polyphosphate metabolism of the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum*: a radiotracer, cytological staining and ³¹P NMR spectroscopy study. *Plant, Cell & Environment*, 40(2): 190-202. <https://doi.org/10.1111/pce.12847>.

¹ Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural - Agrorural, Av. Cusco N° 635, Casilla 05001, Ayacucho / Perú. marcoparamon@hotmail.com.

² Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga \ Facultad de Ciencias Agrarias. Av. Independencia S/N, Casilla 05001, Ayacucho / Perú. nery.santillana@unsch.edu.pe.