



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.847>

Artículo

## Supervivencia y crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en una reforestación por micorrización y fertilización

### Survival and growth of *Pinus engelmannii* Carr. in a reforestation from mycorrhization and fertilization

Silvia Salcido Ruiz<sup>1</sup>, José Ángel Prieto Ruíz<sup>2\*</sup>, Enrique Santana Aispuro<sup>3</sup>

Jorge Armando Chávez Simental<sup>4</sup> y Rosa Elvira Madrid Aispuro<sup>1</sup>

#### Abstract

In a forest nursery, seedlings are provided the necessary care and inputs to promote its quality, in order to have a greater chance of survival and growth during their initial stages. The objective of this study was to assess survival and growth in diameter and height of *P. engelmannii* in a reforestation task, based on the incorporation of commercial mycorrhizal inoculants in the preconditioning stage in the nursery and slow release fertilizer at the planting time. Six treatments were evaluated: endomycorrhizal inoculant with spores of *Glomus*; ectomycorrhizal inoculant with spores of *Amanita rubescens*, *Amanita* sp., *Lactarius indigo*, *Ramaria* sp. and *Boletus* sp.; ectomycorrhizal inoculant with spores of *Pisolithus tinctorius* and *Scleroderma citrinum*; combined with and without slow release Multicote 8<sup>®</sup> granular fertilizer (8-9 months) (11 N-28 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-11 K<sub>2</sub>O + micronutrients). The response variables recorded were: survival and cause of mortality, stem diameter and height. Survival was found to decrease gradually and at 12 months it ranged from 57 % to 83 % between treatments, with statistical differences; there were significant differences in the diameter and height variables from three to 12 months. The treatments with ectomycorrhizal inoculant without fertilization had greater survival, while the treatments with inoculant and fertilizer showed greater increase in diameter and height. It is concluded that controlled inoculation had an impact on survival, while fertilization had an effect on the growth of *P. engelmannii* in the field.

**Key words:** Growth, slow release fertilizer, ectomycorrhiza, *Pinus engelmannii* Carr., reforestation, survival.

#### Resumen

En un vivero forestal, a la planta se le brindan los cuidados e insumos necesarios para favorecer su calidad; con la finalidad de que tenga mejores oportunidades durante su desarrollo inicial. El objetivo del presente estudio fue evaluar la supervivencia y crecimiento en diámetro y altura de *Pinus engelmannii* en una reforestación, con base en la incorporación de inoculantes micorrízicos comerciales en la etapa de precondicionamiento en vivero, y de fertilizante de lenta liberación al momento de plantar. Se evaluaron seis tratamientos: inoculante endomicorrízico con esporas de *Glomus*, inoculante ectomicorrízico con esporas de *Amanita rubescens*, *Amanita* sp., *Lactarius indigo*, *Ramaria* sp. y *Boletus* sp., e inoculante ectomicorrízico con esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma citrinum*, combinado con y sin fertilizante granulado Multicote 8<sup>®</sup> de lenta liberación (8-9 meses) (11 N-28 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-11 K<sub>2</sub>O+ micronutrientes). Las variables respuesta registradas fueron: supervivencia y causa de mortalidad, diámetro del tallo y altura. Los resultados indicaron que la supervivencia disminuyó paulatinamente, y a los 12 meses varió de 57 a 83 % entre tratamientos. En las variables diámetro y altura existieron diferencias significativas de los tres a los 12 meses. Los tratamientos con inoculante ectomicorrízico sin fertilización tuvieron mayor supervivencia, mientras que los tratamientos con inoculante y fertilizante mostraron mayor incremento en diámetro y altura. Se concluye que la inoculación controlada repercutió en la supervivencia, y la fertilización tuvo efecto sobre el crecimiento en campo de *P. engelmannii*.

**Palabras clave:** Crecimiento, fertilizante de lenta liberación, ectomicorriza, *Pinus engelmannii* Carr., reforestación, supervivencia.

Fecha de recepción/Reception date: 29 de agosto de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 4 de noviembre de 2020

<sup>1</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango. Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. México.

<sup>2</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Ciencias Forestales. Durango. México.

<sup>3</sup> Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Estado de Durango. Vivero Forestal Praxedis Guerrero. México.

<sup>4</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango. Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. México.

\*Autor por correspondencia; correo-e: jprieto@ujed.mx

## Introducción

La superficie forestal en México es de 138 millones de hectáreas, de las cuales 34 millones corresponden a bosques. En el país se desarrollan 94 especies de coníferas; de ellas, 43 son endémicas y 20 del género *Pinus* tienen su hábitat en el estado de Durango (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Pérez y Ceja-Romero, 2019; Conafor, 2019), donde *Pinus engelmannii* Carr. se distribuye de forma natural; además de presentarse en Chihuahua, Sinaloa, Zacatecas, Sonora, en el sureste de Arizona y el extremo suroeste de Nuevo México en Estados Unidos de América (Ávila-Flores *et al.*, 2016). Pese a las extensas superficies forestales y abundante biodiversidad que existe a nivel nacional, factores adversos de origen natural y antropogénico ocasionan deforestación y degradación de dichos ecosistemas.

Para contrarrestar el deterioro, las reforestaciones son parte de diversas alternativas consideradas (Prieto y Goche, 2016). Sin embargo, de los programas realizados entre 2006 y 2014, la supervivencia al año de plantado fue de 43 %; como las causas de mortalidad más importantes se registraron a la sequía (42.4 %), fecha inadecuada de plantación (9.7 %), baja calidad de planta (9.2 %), competencia con la vegetación (7.6 %) y pastoreo (7.3 %) (Prieto *et al.*, 2016a; Prieto *et al.*, 2016b). Conafor (2019) determinó que de 2013 a 2017, el promedio de supervivencia aumentó a 59 % debido a una mejoría en el proceso productivo, transporte y plantación del material forestal incorporado.

Para 2019, la producción de planta en el país, distribuida en 157 viveros, fue de 79 millones de plantas de 43 especies (Conafor, 2019).

La norma mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016 establece los lineamientos para producir planta forestal en vivero, con especificaciones mínimas que debe cumplir el material vegetal, previo a su plantado en campo; para *Pinus engelmannii* refiere un diámetro  $\geq 5$  mm, una edad de 10 a 18 meses y presencia de micorriza (Secretaría de Economía, 2016). No obstante, en la mayoría de los viveros forestales de México no se ha incorporado la aplicación de inoculantes ectomicorrízicos en sus programas de producción de planta para reforestación (Pérez-Moreno *et al.*, 2020), ya que cada vivero la produce con base en las condiciones ambientales, los

recursos disponibles y el conocimiento técnico que poseen los responsables de dicha actividad, lo cual incide en la variabilidad de las características morfológicas de la planta producida (Burney *et al.*, 2015).

La simbiosis micorrícica en la producción de planta forestal favorece la nutrición vegetal, proporciona mayor resistencia tanto a la sequía, como a daños por enfermedades (Pera y Parladé, 2005). Aunque se conoce que las especies del grupo de las Pináceas forman ectomicorrizas, cuando se establecen en sitios abiertos algunos taxones de *Pseudotsuga*, *Abies* y *Tsuga* pueden generar endomicorrizas (Cázares y Trappe, 1993); sin embargo, también se ha observado que la fertilización inhibe la micorrización (Baltasar *et al.*, 2007; Salgado *et al.*, 2009; Salcido-Ruiz *et al.*, 2020); por lo que, la compatibilidad depende del grado de susceptibilidad del hongo ante la fertilización (Trappe, 1977; Brundett *et al.*, 1996).

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la supervivencia, así como el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus engelmannii* en una reforestación, mediante la incorporación de inoculantes micorrícicos comerciales en la etapa de precondicionamiento en vivero y fertilizante de lenta liberación al momento del plantado. Se partió de la hipótesis de que la aplicación de inoculantes micorrícicos en vivero y la fertilización en campo favorece ambas respuestas de los individuos.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

La plantación se estableció en el ejido Otinapa del poblado del mismo nombre, municipio Durango, en el estado de Durango, México; se localiza en las coordenadas 24°03'52.2" N y 105°01' 31.1" O, a una altitud de 2 350 m.

La temperatura promedio anual es de 14.6 °C, con una mínima de 6.1 °C y máxima de 21.1 °C; la precipitación media anual es de 667 mm. La vegetación predominante está compuesta por diversas especies del género *Pinus*, entre las cuales destacan *P.*

*engelmannii*, *P. cooperi* Blanco, *P. leiophylla* Schlttdl. et Cham., *P. teocote* Schiede ex Schlttdl, así como *Juniperus* sp. (Prieto *et al.*, 2018; González, 2019). El suelo tiene textura franco-arenosa (54 % arena, 28 % limo y 18 % arcilla), con un pH promedio de 6.9, conductividad eléctrica de 0.41 mS cm<sup>-1</sup> y materia orgánica de 1.11 %.

## **Producción de planta**

El material vegetativo se reprodujo en el vivero forestal "Praxedis Guerrero", de la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Durango, México; localizado en el kilómetro 12.5 de la carretera Durango-El Mezquital (23°56'58.3" N y 104°34'07.4" O), a una altitud de 1 890 m.

La planta se produjo en tubetes de polietileno rígido con guías de raíces internas, color negro, con 4 cm de diámetro superior, 21 cm de largo y 165 mL. El sustrato consistió en una mezcla a base de turba (48 %), corteza de pino compostada (22 %), vermiculita (16 %) y agrolita (14 %). Durante la preparación del sustrato se adicionaron 4 kg m<sup>-3</sup> de *Multicote 8*<sup>®</sup>, fertilizante granulado de lenta liberación (8-9 meses), con la composición 11N-28P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-11K<sub>2</sub>O + micronutrientes. La semilla provino de un rodal semillero, ubicado a 2 465 m de altitud, en San Miguel de Cruces, municipio San Dimas, Durango.

## **Preparación del sitio y plantado**

El sitio seleccionado tenía cinco años sin cubierta arbórea, debido a una sequía extrema ocurrida en 2012 y daño posterior en 2013 por descortezadores, lo que provocó la mortalidad del arbolado. Tres años antes del plantado, el suelo se roturó con tractor agrícola, mediante el paso de un subsolador, con lo que se marcaron líneas de 40 cm de profundidad en el centro de la línea de plantado y 3 m de separación, con una cinta métrica de *Truper*<sup>®</sup> modelo TP20ME de 20 m. En cada línea, con un talacho *Truper*<sup>®</sup> modelo 18631 se hicieron cepas de 25 a 30 cm de diámetro y profundidad,

separadas a 1.0 m (dicha medición se realizó con un flexómetro Anvil® modelo 96408). La plantación cubrió un área de 600 m<sup>2</sup>. La planta, con 11 meses de edad, se estableció en campo el 11 de agosto de 2018, con diámetro promedio de 6.5 mm, y altura de 8 cm, características morfológicas aceptables para *P. engelmannii*, con base en la norma NMX-AA-170-SCFI-2016 (Secretaría de Economía, 2016). Las mediciones de estas variables se realizaron con un calibrador *Truper*® modelo 14388 y una regla graduada *Pilot*® modelo RAS-30, respectivamente.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Se evaluaron seis tratamientos, con tres inoculantes y dos condiciones de fertilización (Cuadro 1). En el factor micorrización, un mes antes de plantar el material vegetativo se inoculó con tres productos comerciales: A) Bio Bravo®, B) *Ecto-Myc*® y, C) *MycorTree Ecto-inyectable*®, los dos primeros son de origen nacional, mientras que el tercero es de importación; los tres productos contenían esporas. Los inoculantes A y B se aplicaron en dosis de 10 mL planta<sup>-1</sup>; del C, se adicionaron 2 mL planta<sup>-1</sup>; las dosis aplicadas se basaron en las recomendaciones de los productos evaluados. Con relación a la fertilización, se establecieron dos condiciones: plantado con 7 g de fertilizante y sin fertilizante; se aplicó el fertilizante granulado *Multicote 8*®, con la composición 11N-28P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-11K<sub>2</sub>O + micronutrientes colocándolo en el fondo de la cepa y se cubrió con una capa de 5 cm de suelo, para evitar el contacto directo con las raíces.



**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados en la supervivencia y crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en campo.

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>
IA	Inoculante A (10 mL planta <sup>-1</sup> ) y sin fertilización
IB	Inoculante B (10 mL planta <sup>-1</sup> ) y sin fertilización
IC	Inoculante C (2 mL planta <sup>-1</sup> ) y sin fertilización
IA+F	Inoculante A (10 mL planta <sup>-1</sup> ) y fertilización de 7 g planta <sup>-1</sup>
IB+F	Inoculante B (10 mL planta <sup>-1</sup> ) y fertilización de 7 g planta <sup>-1</sup>
IC+F	Inoculante C (2 mL planta <sup>-1</sup> ) y fertilización de 7 g planta <sup>-1</sup>

IA = Inoculante endomicorrícico con esporas de *Glomus*; IB = Inoculante ectomicorrícico con esporas de *Amanita rubescens* Pers., *Amanita* sp., *Lactarius indigo* [Schwein] Fr., *Ramaria* sp. y *Boletus* sp. IC=Inoculante ectomicorrícico con esporas de *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker *et* Couch y *Scleroderma citrinum* Pers.; F = Fertilizante granulado *Multicote 8*<sup>®</sup>, de lenta liberación (8-9 meses), con la composición 11N-28P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-11K<sub>2</sub>O+ micronutrientes.

La distribución de las plantas se realizó en un diseño experimental de bloques completos al azar. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones y 10 plantas por unidad experimental.



## **Variables evaluadas y análisis estadístico**

La supervivencia y la causa de mortalidad se evaluaron cada tres meses durante un año, bajo las categorías siguientes: A) Sequía, plantas completas y sin daño físico; B) Pastoreo, plantas quebradas por pisoteo o ramoneadas; C) Fauna nociva, desaparición parcial o total de la planta aunada a la aparición de un montículo de tierra en el lugar donde fue plantada. Además, se registró el diámetro a la base del tallo, con un vernier digital *Truper*<sup>®</sup> y la altura de las plantas, medida con una regla graduada convencional. Se realizó un análisis de varianza a cada variable y en los casos en los que existieron diferencias estadísticas, se hicieron pruebas de comparación de medias de *Duncan* ( $p \leq 0.05$ ) con el programa estadístico *SAS*<sup>®</sup> versión 9.2 (*SAS*, 2009). Los valores porcentuales de supervivencia y causa de muerte se transformaron con la función arcoseno y raíz cuadrada.

## **Resultados y Discusión**

### **Supervivencia y mortalidad**

La supervivencia a los tres meses, varió de 92.5 a 100 %; a los seis meses, de 85 a 100 %; a los nueve meses, de 77 a 97 %; y a los 12 meses, de 58 a 83 %. Sin embargo, solo se verificaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos a los nueve y 12 meses. A los nueve meses los tratamientos IA, IC e IC+F se ubicaron en el grupo estadístico superior con más de 94 % de supervivencia; mientras que en la evaluación final, el IC resultó mejor y el tratamiento IA+F obtuvo el valor más bajo (Cuadro 2).



**Cuadro 2.** Supervivencia de *Pinus engelmannii* Carr. durante 12 meses, con base en el uso de inoculantes en la etapa de precondicionamiento y fertilización al momento de plantar.

Tratamiento	Supervivencia (%)			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
IA	100 ±0.0 a	100 ±0.0 a	97.5±0.1 a	72.5±0.05 abc
IB	97.5±0.1 a	92.5±0.1 a	87.5±0.1 ab	77.5±0.03 ab
IC	100 ±0.0 a	97.5±0.1 a	95.0±0.1 a	82.5±0.06 a
IA+F	92.5±0.1 a	85.0±0.1 a	77.5±0.1 b	57.5±0.05 c
IB+F	97.5±0.1 a	92.5±0.1 a	85.0±0.1 ab	60.0±0.04 bc
IC+F	100 ±0.0 a	100 ±0.0 a	95.0±0.1 a	72.5±0.12 abc

IA = Inoculante endomicorrícico con esporas de *Glomus*; IB = Inoculante ectomicorrícico con esporas de *Amanita rubescens*, *Amanita* sp., *Lactarius indigo*, *Ramaria* sp. y *Boletus* sp; IC = Inoculante ectomicorrícico con esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma citrinum*; F = Fertilizante granulado *Multicote 8*<sup>®</sup>. ± Error estándar de la media. Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia entre tratamientos (*Duncan*,  $p \leq 0.05$ ).

A partir de los nueve meses se registró un descenso general en la supervivencia, con porcentajes menores en los tratamientos IA+F e IB+F que coincidieron con la época de estiaje, normalmente, de febrero a mayo. La supervivencia más alta, a los 12 meses de plantado, ocurrió en los tratamientos IC e IB, caracterizados por carecer de fertilización y estar inoculados con ectomicorrizas; en estos tratamientos, la micorrización pudo



proporcionar a la planta mayor oportunidad de sobrevivir, debido a que mejoran su crecimiento y tienen mayor tolerancia al estrés por sequía (Kipfer *et al.*, 2010).

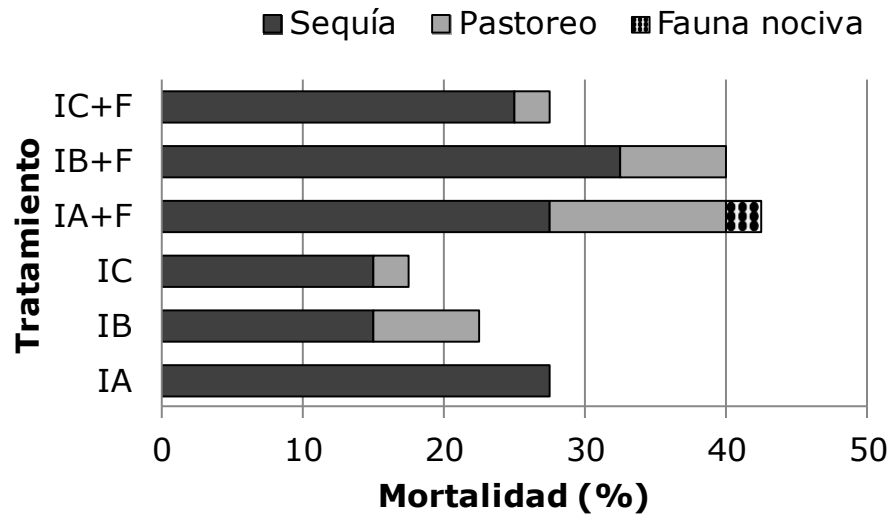
De acuerdo con Mejía *et al.* (2015), las plantaciones forestales atraviesan por una etapa crítica después del plantado, ya que la supervivencia es afectada en los primeros años. Los resultados mostraron una supervivencia mayor a la media nacional (59 %) al año del plantado (Conafor, 2019), pero menor a la obtenida por González (2019) en una plantación de *P. engelmannii* en un sitio aledaño, en la cual obtuvo una supervivencia promedio de 85 % al año de plantación.

En una localidad ubicada a menos de 3 km del lugar donde se realizó el presente estudio, Prieto *et al.* (2018) evaluaron la supervivencia y el crecimiento en *P. engelmannii*; en dicha investigación utilizaron plantas de dos diámetros iniciales: 6.5 y 5.0 mm, los cuales son similares al diámetro de las plantas usadas en el ensayo que aquí se documenta, fertilizado con material de liberación lenta (composición 18N-6P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-12K<sub>2</sub>O+2MgO+ micronutrientes), en dosis de 7 g planta<sup>-1</sup>. A los 13 meses de plantadas, la supervivencia para los ejemplares de mayor diámetro fue 67.5 %. En este caso el tratamiento IC registró mayor porcentaje de supervivencia (82.5 %), en el que la inoculación sin fertilización pudo influir en el resultado (López-Gutiérrez *et al.*, 2018).

Con respecto a los brinzales muertos (30 %) al año de plantados, se identificaron tres causas asociadas a ese hecho: sequía (80 %), pastoreo (18 %) y fauna nociva (2 %); la mayor mortalidad se explica por la escasez de humedad en el suelo durante la época de estiaje, ya que su textura franco-arenosa limita la retención de agua, aunado al bajo contenido de materia orgánica. Cabe agregar que el hábitat para la especie en estudio no es el idóneo, pues corresponde a una zona de transición, con lluvias en verano y una precipitación anual de 667 mm, la cual está cerca al límite inferior definido por Martínez (1992), de 500 a 1 400 mm.

Los factores asociados a la mortalidad impactaron de manera diferente en los tratamientos (Figura 1). En el caso de los tratamientos IB e IC, se aprecia una resistencia mayor al daño por sequía, que responde a una simbiosis ectomicorrícica

efectiva, ya que ese fue el componente común en ambos, y es una de las funciones que se le atribuye a la ectomicorriza (Gómez-Romero *et al.*, 2015; Barroetaveña *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior, las causas de mortalidad registradas coinciden con las consignadas por Prieto *et al.* (2016b) a nivel nacional; de ellas, la sequía es la más importante.



**Figura 1.** Mortalidad en *Pinus engelmannii* Carr. a los 12 meses de plantado con base en el uso de inoculantes en la etapa de precondicionamiento y fertilización al momento de plantar.

Aunque se ha documentado que el género *Pinus* presenta, predominantemente, simbiosis ectomicorrícica (Bücking *et al.*, 2012), también se hace referencia al uso de micorriza arbuscular en *P. engelmannii* con reacciones favorables en el crecimiento de la planta (Montes-Rivera *et al.*, 2001). Los resultados del presente estudio para el tratamiento IA pueden aludir a que no se estableció una simbiosis efectiva, debido a que el tiempo considerado para la formación de la asociación micorrícica, posiblemente, fue insuficiente, sobre todo porque *P. engelmannii* es una especie de crecimiento lento, en comparación con especies arbustivas o herbáceas, en las que la formación de micorriza arbuscular es más rápida (Brundett *et al.*, 1996).

En los tratamientos fertilizados (IA+F, IB+F e IC+F), también se observó un posible efecto de inhibición de la formación de micorriza por la fertilización. Al respecto, se ha señalado que el incremento de este procedimiento puede disminuir la colonización micorrícica (Brundett *et al.*, 1996; Salgado *et al.*, 2009); tal como ocurrió en *Pinus engelmannii*, cuyas plantas inoculadas en vivero con hongos nativos (*Amanita rubescens* Pers., *Amanita* sp., *Lactarius indigo* [Schwein] Fr., *Ramaria* sp. y *Boletus* sp.), más 3 g·L<sup>-1</sup> de fertilizante de liberación controlada tuvieron mayor índice de calidad de Dickson y un porcentaje de colonización micorrícica más alto, con relación a la planta fertilizada con dosis de 6 g·L<sup>-1</sup> (Salcido-Ruiz *et al.*, 2020).

Las causas de mortalidad externas a los componentes de cada tratamiento, como el pastoreo y la fauna nociva, incidieron 20 %. Según Prieto *et al.* (2016b), los daños físicos a las plantas por presencia de ganado pueden ser mortales debido al pisoteo o ramoneo; en este experimento, los ejemplares afectados evidenciaron pisoteo y no lograron recuperarse. Por otra parte, el daño causado por *Pappogeomys castanops* Baird (1852) (tuza) también fue mortal, ya que como citan Gunn *et al.* (2016), son roedores excavadores que consumen plantas o partes de ellas, que al ser de interés humano se catalogan como una plaga que requiere control. Sin embargo, se ha demostrado la importancia de la dinámica de las tuzas para la conservación de otras especies que utilizan su sistema de galerías como sitios de refugio (Rosas-Espinoza *et al.*, 2014); por lo que su beneficio o perjuicio está en función del objeto de estudio.

### **Diámetro del tallo**

Se registraron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos en las cuatro evaluaciones realizadas. Los mejores resultados fueron para los tratamientos con la condición de micorriza más fertilización (IA+F, IB+F e IC+F) (Cuadro 3). El incremento promedio final en los tratamientos con fertilización fue de 10 mm, mientras que sin fertilización (IA, IB e IC) fue de 6.9 mm.

**Cuadro 3.** Diámetro del tallo de *Pinus engelmannii* Carr. durante 12 meses, con base en el uso de inoculantes en la etapa de precondicionamiento y fertilización al momento de plantar.

Tratamiento	Diámetro del tallo (mm)			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
IA	8.7±0.2 b	10.5±0.3 b	12.4±0.4 b	14.3±0.4 b
IB	8.6±0.3 b	10.0±0.3 b	11.2±0.3 c	12.6±0.3 c
IC	8.5±0.2 b	10.1±0.3 b	11.7±0.3 bc	13.2±0.4 bc
IA+F	10.7±0.3 a	13.6±0.3 a	14.9±0.4 a	16.6±0.5 a
IB+F	11.2±0.3 a	13.7±0.4 a	14.9±0.4 a	16.5±0.5 a
IC+F	10.7±0.3 a	12.9±0.4 a	14.8±0.4 a	16.3±0.5 a

IA = Inoculante arbuscular con esporas de *Glomus*; IB = Inoculante ectomicorrízico con esporas de *Amanita rubescens*, *Amanita* sp., *Lactarius indigo*, *Ramaria* sp. y *Boletus* sp.; IC = Inoculante ectomicorrízico con esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma citrinum*; F = Fertilizante granulado Multicote 8®. ± Error estándar de la media. Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia entre tratamientos (*Duncan*,  $p \leq 0.05$ ).

Estos resultados fueron superiores a los de Mejía *et al.* (2015), quienes evaluaron plantaciones forestales en el estado de Durango, y registraron un diámetro promedio de 13 mm para una plantación de *P. engelmannii* de tres años de edad. Todos los tratamientos evaluados al año de la plantación superan esta referencia, a excepción del tratamiento IB. Sin embargo, para Prieto *et al.* (2018) y González (2019) los incrementos del diámetro resultaron superiores (11.2 a 14.3 mm y de 15.6 a 17.9

mm, respectivamente) en plantaciones de *P. engelmannii* con 13 y 12 meses de edad en sitios próximos al del presente estudio, y a las que se fertilizaron con *Multicote*<sup>®</sup> en dosis de 7 y 10 g planta<sup>-1</sup> al momento de plantar.

Se ha consignado que el diámetro es un buen predictor de la supervivencia de la planta en campo (Prieto *et al.*, 2018), de ahí que la NMX-AA-170-SCFI-2016 estipule valores mínimos requeridos para cada especie (Secretaría de Economía, 2016). Sin embargo, en esta investigación los tratamientos que produjeron diámetros más destacados no correspondieron a los mayores porcentajes de supervivencia; lo cual se puede explicar con los argumentos de Grossnickle y Macdonald (2017) quienes indican que, cuando el diámetro no se relaciona con la supervivencia en campo, se debe a las condiciones estresantes del sitio, por lo que destaca la importancia de la simbiosis micorrícica.

### **Altura**

Los resultados mostraron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre algunos tratamientos en las cuatro evaluaciones. En todos los casos las plantas con los datos más altos se obtuvieron en alguno de los tratamientos con inoculante ectomicorrícico (IB o IC) más fertilización (F) (Cuadro 4).



**Cuadro 4.** Altura de *Pinus engelmannii* Carr. durante 12 meses desde su plantación.

Tratamiento	Altura (cm)			
	3 meses	6 meses	9 meses	12 meses
IA	8.4±0.2 ab	8.6±0.2 ab	8.9±0.3 ab	9.2±0.3 b
IB	8.3±0.2 ab	8.5±0.2 ab	8.9±0.2 ab	9.6±0.2 ab
IC	7.9±0.2 b	8.1±0.2 b	8.4±0.3 b	9.4±0.3 ab
IA+F	8.0±0.2 ab	8.7±0.2 ab	9.0±0.3 ab	9.7±0.3 ab
IB+F	8.5±0.2 ab	8.9±0.2 a	9.1±0.2 ab	10.1±0.3 a
IC+F	8.7±0.3 a	8.9±0.2 a	9.2±0.2 a	9.7±0.3 ab

IA = Inoculante arbuscular con esporas de *Glomus*; IB = Inoculante ectomicorrízico con esporas de *Amanita rubescens*, *Amanita sp.*, *Lactarius indigo*, *Ramaria sp.* y *Boletus sp.*; IC = Inoculante ectomicorrízico con esporas de *Pisolithus tinctorius* y *Scleroderma citrinum*; F = Fertilizante granulado Multicote 8®. ± Error estándar de la media. Medias con letra diferente en la misma columna indican diferencia entre tratamientos (*Duncan*,  $p \leq 0.05$ ).

El incremento promedio final en los tratamientos con fertilización fue de 1.8 cm, y en individuos sin fertilización (IA, IB e IC) fue de 1.4 cm. González (2019) registró un incremento promedio final de 5.8 cm para plántulas de *P. engelmannii* a los 12 meses de plantación, en las cuales también se utilizó fertilizante de lenta liberación, solo que a cuatro meses y en una dosis mayor (10 g planta<sup>-1</sup>).

La NMX-AA-170-SCFI-2016 no considera la altura mínima en la evaluación de calidad de planta de *P. engelmannii* (Secretaría de Economía, 2016), debido a que es una especie que en su etapa inicial se caracteriza por la producción abundante de acículas que llegan a medir más de 30 cm, por lo que su crecimiento es cespitoso y ello provoca un incremento similar en altura (Ávila-Flores *et al.*, 2014; Rosales *et al.*, 2015).

## **Conclusiones**

El porcentaje de supervivencia se afecta de manera significativa en los tratamientos adicionados con fertilizante de liberación controlada, la principal causa de la mortalidad de planta es la sequía. Existe un efecto positivo de la micorrización en la supervivencia de la planta durante la etapa de su establecimiento en campo. La adición de fertilizante de lenta liberación al momento de plantar influye, de manera importante, en el crecimiento de la planta, lo cual se expresa en el diámetro del tallo y la altura.

## **Agradecimientos**

Al Conacyt por el apoyo de estancia posdoctoral de la primera autora en el Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.



## **Contribución por autor**

Silvia Salcido Ruiz: ejecución de la investigación, análisis de datos, verificación de resultados y revisión del manuscrito; José Ángel Prieto Ruíz: supervisión de la investigación, diseño metodológico, verificación de resultados, apoyo en campo y revisión del manuscrito; Enrique Santana Aispuro: suministro de materiales de estudio, apoyo en campo y revisión del manuscrito; Jorge Armando Chávez Simental: apoyo en campo y revisión del manuscrito; Rosa Elvira Madrid Aispuro: análisis estadístico y revisión del manuscrito.

## **Referencias**

- Ávila-Flores, I. J., J. A. Prieto-Ruíz, J. C. Hernández-Díaz, C. A. Wehenkel and J. J. Corral-Rivas. 2014. Preconditioning *Pinus engelmannii* Carr. seedlings by irrigation deficit in nursery. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(3): 237–245. Doi:10.5154/r.rchscfa.2014.02.004.
- Ávila-Flores, I. J., J. C. Hernández-Díaz, M. S. González-Elizondo, J. Á. Prieto-Ruíz and C. Wehenkel. 2016. *Pinus engelmannii* Carr. in Northwestern Mexico: A review. *Pakistan. Journal of Botany* 48(5): 2159-2166.  
[https://www.researchgate.net/publication/307887689\\_Pinus\\_engelmannii\\_Carr\\_in\\_Northwestern\\_Mexico\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/307887689_Pinus_engelmannii_Carr_in_Northwestern_Mexico_A_review) (17 de octubre de 2020).
- Baltasar, M. D., C. Barroetaveña y M. Rajchenberg. 2007. Influencia del régimen de fertilización y del momento de inoculación en la micorrización de *Pinus ponderosa* en la etapa de vivero. *Bosque* 28(3): 226-233. Doi:10.4067/S0717-92002007000300007.
- Barroetaveña, C., V. N. Bassani, J. I. Monges and M. Rajchenberg. 2016. Field performance of *Pinus ponderosa* seedlings inoculated with ectomycorrhizal fungi planted in steppe-grasslands of Andean Patagonia, Argentina. *Bosque* 37(2): 307-316. Doi:10.4067/S0717-9200201600020000.



Brundett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove and N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Monograph 32. Australian Center for International Agricultural Research. Canberra, Australia.

Doi:10.13140/2.1.4880.5444.

Bücking, H., E. Liepold and P. Ambilwade. 2012. The role of the mycorrhizal symbiosis in nutrient uptake of plants and the regulatory mechanisms underlying these transport processes. *In*: Kumar D., N. and S. Charan S. (eds). Plant Science. pp. 107-138. London, UK. Doi:10.5772/52570.

Burney, O., A. Aldrete, R. Álvarez R., J. A. Prieto R., J. R. Sánchez V. and J. G. Mexal. 2015. México-Addressing challenges to reforestation. *Journal of forestry* 113(4): 404-413. Doi:10.5849/jof.14-007.

Cázares, E. and J.M. Trappe. 1993. Vesicular endophytes in roots of the Pinaceae. *Mycorrhiza* 2: 153–156. Doi:10.1007/BF00210584.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2019. Estado que guarda el sector forestal en México. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7743Estado%20que%20Guarda%20el%20Sector%20Forestal%20en%20Mexico%202019.pdf> (16 de mayo de 2020).

Gernandt, D. S. y J. A. Pérez-de la R. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 126-133.

Doi:10.7550/rmb.32195.

Gómez-Romero, M., R. Lindig-Cisneros y E. del Val de Gori. 2015. Efecto de la sequía en la relación simbiótica entre *Pinus pseudostrobus* y *Pisolithus tinctorius*. *Botanical Sciences* 93(4): 731–740. Doi:10.17129/botsci.193.

- González O., M. M. 2019. Sustratos alternativos y fertilización en la calidad de planta de *Pinus engelmannii* Carr. y *Pinus cooperi* Blanco en vivero y en campo. Tesis doctoral. Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México. 108 p.
- Grossnickle, S. and J. Macdonald. 2017. Why seedlings grow: influence of plant attributes. *New Forests* 49: 1-34. Doi:10.1007/s11056-017-9606-4.
- Gunn, D., R. Hirnyck, G. Shewmaker, S. Takatori and L. T. Ellis. 2016. Controlando a las tuzas de Idaho. University of Idaho Extension CIS 1213-S.  
<https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/CIS/CIS1213-S.pdf> (11 de mayo de 2020).
- Kipfer, T., S. Egli, J. Ghazoul, B. Moser and T. Wohlgemuth. 2010. Susceptibility of ectomycorrhizal fungi to soil heating. *Fungal Biology* 114:467-472.  
Doi:10.1016/j.funbio.2010.03.008.
- López-Gutiérrez, A., J. Pérez M., F. Hernández S., E. Uscanga M., A. García E., V. M. Cetina A., M. R. Cardoso V. and B. Xoconostle C. 2018. Nutrient mobilization, growth and field survival of *Pinus pringlei* inoculated with three ectomycorrhizal mushrooms. *Botanical Sciences* 96(2): 286-304. Doi:10.17129/botsci.1239.
- Martínez, M. 1992. Los Pinos Mexicanos. Ediciones Botas. México, D.F., México. 361 p.
- Mejía B., J. M., J. L. García R. y H. J. Muñoz F. 2015. Evaluación de plantaciones de cuatro especies forestales en el estado de Durango. *Reaxion* 2(5): 8-28.  
[http://reaxion.utleon.edu.mx/Art\\_Evaluacion\\_plantaciones\\_cuatro\\_especies\\_forestales\\_Durango.html](http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Evaluacion_plantaciones_cuatro_especies_forestales_Durango.html) (14 de mayo de 2020).
- Montes-Rivera, G., S. Solís-González y M. Quintos-Escalante. 2001. Efecto del inoculante comercial Burize (*Glomus intraradices*) sobre el desarrollo de *Pinus engelmannii* Carr. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2): 123-126.

Pera, J. y J. Parladé. 2005. Inoculación controlada con hongos ectomicorrícicos en la producción de planta destinada a repoblaciones forestales: estado actual en España. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14(3): 419-433.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1341249> (25 de abril de 2020).

Pérez O., C. P. y J. Ceja-Romero. 2019. Anatomía de la hoja de seis especies de *Pinus* del estado de Durango. *Madera y Bosques* 25(1): 1-11.

Doi:10.21829/myb.2019.2511698.

Pérez-Moreno, J., M. Martínez-Reyes, F. Hernández-Santiago and I. Ortiz-López. 2020. Climate change, biotechnology, and Mexican neotropical edible ectomycorrhizal mushrooms. *In: Pérez-Moreno, J., A. Guerin-Laguet, R. Flores A. and F.-Q. Yu. (eds.). Mushrooms, humans and nature in a changing world. Springer International Publishing. Cham, Switzerland. pp. 61-99. Doi:10.1007/978-3-030-37378-8\_3.*

Prieto R., J. A. y J. R. Goche T. 2016. La reforestación en México: problemática y alternativas de solución. UJED Editorial. Durango, Dgo. México. 79 p.

Prieto R., J. A., J. C. Hernández D., J. R. Goche T., J. M. Olivas G., J. Hernández S., C. Luján A., A. Wehenkel y A. Aldrete. 2016a. Factores que influyen en la supervivencia y crecimiento de las reforestaciones. pp. 27-54. *In: Prieto R., J. A. y J. R. Goche T. (comps). La Reforestación en México Problemática y alternativas de solución. UJED Editorial. Durango, Dgo. México. 79 p.*

Prieto R., J. A., A. Aldrete, J. C. Hernández D. y J. R. Goche T. 2016b. Causas de mortalidad de las reforestaciones y propuestas de mejora. pp. 55-65. *In: Prieto R., J. A. y J. R. Goche T. (comps). La Reforestación en México Problemática y alternativas de solución. UJED Editorial. Durango, Dgo. México. 79 p.*

- Prieto R., J. A., A. Duarte S., J. R. Goche T., M. M. González O. y M. A. Pulgarín G. 2018. Supervivencia y crecimiento de dos especies forestales, con base en la morfología inicial al plantarse. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47): 151-168. Doi:10.29298/rmcf.v9i47.182.
- Rosales M., S., J. A. Prieto R., J. L. García R., R. E. Madrid A. y J. A. Sigala R. 2015. Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. bajo diferentes condiciones ambientales en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 64-71. Doi:10.29298/rmcf.v6i27.281.
- Rosas-Espinosa, V. C., E. S. García-Mata, A. L. Santiago-Pérez y J. Villarreal-Méndez. 2014. Herpetofuna asociada a madrigueras de la tuza *Pappogeomys bulleri* en el bosque templado de Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 328-331. Doi:10.7550/rmb.36748.
- Salcido-Ruiz, S., J. Á. Prieto-Ruíz, J. L. García-Rodríguez, E. Santana-Aispuro and J. A. Chávez-Simental. 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. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2019.11.080.
- Salgado S., M. E., M. Rajchenberg y C. Barroetaveña. 2009. Evaluación del estado micorrícico de plántulas de *Pinus ponderosa* producidas bajo fertirriego, sin manejo de la micorrización. *Bosque* 30(3): 127-134. Doi:10.4067/S0717-92002009000300002.
- Secretaría de Economía. 2016. Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2014: Certificación de Operación de Viveros Forestales. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México. 194 p. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/consulta.nmx> (28 de abril de 2020).

Statistical Analysis System. 2009. SAS Ver. 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.

Trappe, J. M. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries.

Annual Review of Phytopathology 15: 203-222.

Doi:10.1146/annurev.py.15.090177.001223.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.