



DOI: [10.29298/rmcf.v14i75.1255](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i75.1255)

Artículo Científico

Efecto del riego, la fertilización y el contenedor en la respuesta a la injertación de plántulas de *Pinus patula* Schltl. & Cham.

Effect of irrigation, fertilization and the container on the response to grafting of *Pinus patula* Schltl. & Cham. Seedlings

Edgar David López Avendaño¹, Miguel Ángel López López^{1*}, Carlos Ramírez Herrera¹, Manuel Aguilera Rodríguez¹

Fecha de recepción/Reception date: 17 de febrero de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 20 de noviembre del 2022

¹Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: lopezma@colpos.mx

*Corresponding author; e-mail: lopezma@colpos.mx

Resumen

El éxito de la injertación depende de múltiples factores, algunos especie-dependientes. Sin embargo, existen pocos estudios en *Pinus patula* relativos a los efectos del manejo del patrón y de la planta compuesta (injertada) sobre el desempeño del injerto. El objetivo del presente estudio fue evaluar el prendimiento y desarrollo de injertos de brotes de *Pinus patula* en función de factores asociados tanto al patrón, como a la planta injertada. En un experimento factorial 2×2×2, los patrones se sometieron a dos tipos de envase, dos niveles de riego y dos niveles de fertilización un mes antes de la injertación, y se continuó con los tratamientos hasta el término del período experimental. Se evaluó el prendimiento de los injertos (*PI*), el diámetro basal del injerto (*DBI*), la longitud del injerto (*LI*), el índice de robustez del injerto (*IR*), el incremento en diámetro basal del injerto (*IDBI*) y el incremento de la longitud del injerto (*ILI*). Se utilizaron pruebas de *Mann-Whitney* y de análisis de varianza, seguidos de pruebas de comparación de medias de *Tukey* ($\alpha=0.05$). Los factores probados no influyeron estadística ni directamente en el *PI*, cuyo valor general promedio fue de 72.5 %. Los tipos de contenedor y los niveles de riego y fertilización sí afectaron significativamente las variables morfológicas evaluadas.

Palabras clave: Fertilizante de liberación lenta, injerto, planta patrón, prendimiento, reproducción asexual, riego a saturación.

Abstract

Grafting success depends on multiple factors, including species-dependent ones. However, there are few studies on the effects of management of rootstock and the composite (grafted) *Pinus patula*, seedlings on graft performance. The objective of this study was to evaluate the grafting success and development of *P. patula* shoot grafts based on factors associated with management of both the rootstock and the composite (grafted) plant. In a 2x2x2 factorial experiment, the rootstocks were subjected to two types of container, two levels of irrigation and two levels of fertilization one month before grafting, which went on with the treatments until the end of the experimental period. Grafting success (*PI*), graft basal diameter (*DBI*), graft length (*LI*), graft robustness index (*IR*), graft basal diameter increase (*IDBI*) and graft length increase (*ILI*) were evaluated.

Mann-Whitney tests and analyses of variance followed by Tukey tests ($\alpha=0.05$) were applied. The factors tested did not affect statistically or directly *PI*, whose general mean value was 72.5 %. The container type and levels of watering and fertilization significantly affected all the assessed morphological variables.

Key words: Slow release fertilizer, graft, rootstock, grafting success, asexual reproduction, saturation watering.

Introducción

Pinus patula Schltdl. & Cham. es una especie endémica del centro de México (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997). Posee atributos que la han convertido en una de las más importantes en este país por su alta productividad y abundancia en los bosques (Dvorak, 2002; Rivera-Rodríguez *et al.*, 2016). Además, sus árboles son de rápido crecimiento, buena poda natural y madera de alta calidad (Velázquez *et al.*, 2004).

Recientemente, los investigadores forestales en México han mostrado interés por desarrollar programas de mejoramiento genético a partir de progenitores seleccionados (Camcore, 2008) mediante injertos como método de propagación clonal. La clonación de árboles forestales por este conducto permite multiplicar genotipos de árboles maduros con características de interés económico y ecológico, como parte del mejoramiento genético forestal (Wang, 2011; Vargas-Hernández y Vargas-Abonce, 2016; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

La púa y el patrón o portainjerto constituyen la planta compuesta, y unidos forman una planta nueva con genotipos distintos; en la cual, la púa, el brote o la yema donada por el árbol tiene características genéticas deseadas y constituye el componente de la parte superior del injerto, mientras que el patrón o portainjerto es la parte inferior de la planta que proporciona el sistema radical, además de agua y nutrimentos para el desarrollo del injerto (Wright, 1976; Mudge *et al.*, 2009; Ranjith e Ilango, 2017; Kita *et al.*, 2018). Una de las técnicas más utilizadas para este procedimiento en especies de coníferas es el injerto de hendidura terminal, también conocida como injerto terminal (Muñoz *et al.*, 2013).

El éxito de la injertación depende de los factores que la condicionan, entre ellos el tipo y la técnica de injertación, la compatibilidad entre púa y portainjerto, la calidad y origen del portainjerto, el vigor y origen de la púa, la posición de la púa en la copa de los árboles donantes, la época de injertación, la experiencia del injertador, las características genéticas, taxonómicas y anatómicas del patrón y la púa, la conexión del tejido celular entre el patrón y la púa, y la presencia o ausencia de hormonas reguladoras del crecimiento (Villaseñor y Carrera, 1980; Moore, 1984; Jayawickrama *et al.*, 1991; Lott *et al.*, 2003; Valdés *et al.*, 2003; Pina y Errea, 2005; Hibbert-Frey *et al.*, 2011; Darikova *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2013; Goldschmidt, 2014; Pérez-Luna *et al.*, 2019; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

Para someter plantas a un ciclo de injertación es necesario producir portainjertos de alta calidad; sin embargo, existen pocos estudios sobre este tipo de técnicas con especies de pino; lo que deja desatendida esa actividad, pese a la importancia que tiene el portainjerto en el prendimiento y crecimiento del injerto (Hibbert-Frey *et al.*, 2010; Darikova *et al.*, 2013; Kita *et al.*, 2018).

La amplia literatura sobre el tema revela que el patrón tiene efectos sobre múltiples características de la púa; por ejemplo, el prendimiento, desarrollo, vigor, fructificación y hábito de crecimiento (Jayawickrama *et al.*, 1991; Verdugo-Vásquez *et al.*, 2021). Sin embargo, la mayoría de los estudios analizan los efectos de características genéticas del patrón y son muy escasos los que abordan aspectos de su manejo (Copes, 1980; Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). No obstante, existe evidencia de que el vigor del patrón se relaciona con el comportamiento futuro de la planta injertada y que prácticas de manejo del patrón que influyen en su vigor, probablemente afecten el prendimiento del injerto y el desempeño de la planta injertada.

Así, el objetivo del presente estudio fue evaluar el prendimiento de injertos y el crecimiento de planta injertada o planta compuesta de *Pinus patula* en función de factores asociados, tanto al patrón como a la planta injertada; para ello se probaron tipos de envase, niveles de fertilización y de riego. Se plantea como hipótesis nula que

los factores probados no afectan ni el prendimiento, ni la morfología de la planta compuesta.

Materiales y Métodos

Área de estudio y procedencia de púas

Se utilizaron púas de seis árboles de nueve años con diámetro y altura promedio de 20.61 cm y 16.25 m, respectivamente. Los árboles provenían de una plantación forestal que se estableció en agosto de 2011 en el predio Casa Redonda del ejido Palo Bendito, municipio Huayacocotla, en el estado de Veracruz, México; ubicado entre los 20°27'22" N y 98°29'00" O, a una altitud de 2 460 m.

La selección de los árboles se basó, en esencia, en el estado fenológico de los brotes, que los árboles estuvieran libres de plagas y enfermedades aparentes, y que mostraran buenas características fenotípicas como autopoda, rectitud del fuste y ausencia de bifurcaciones, además de diámetro sobresaliente (dominancia sociológica). Los brotes recolectados el 14 de enero de 2021 aún permanecían en etapa de latencia, con una longitud promedio de 6 cm.

Los brotes se recolectaron de la parte media externa de la copa, donde se presenta el crecimiento vegetativo reciente; se agruparon para después guardarlos en bolsas rotuladas con el número de árbol y se almacenaron en una hielera que contenía latas con agua congelada, se cubrieron con un trapo húmedo para mantenerlos a

una temperatura baja que evitara el estrés y la pérdida de turgencia. Los brotes fueron injertados 24 horas después del corte.

Origen y preparación de los portainjertos

Se trabajó con patrones de planta de *P. patula* de nueve meses de edad, 7.1 mm de diámetro basal y 56.3 cm de altura, procedentes del Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad Peñuelas Pueblo Nuevo, municipio Chignahuapan, en el estado de Puebla (19°57'36" N y 98°06'26.20" O, a 2 680 msnm).

La semilla provino de un huerto semillero localizado en las inmediaciones del propio vivero. Las plantas se produjeron en charolas de poliestireno con 77 cavidades de 170 cm³ bajo condiciones de malla sombra a 50 %. Los ejemplares se cultivaron en una mezcla de sustrato de aserrín, turba de musgo o *peat moss*, perlita (*Multiperl*®) y vermiculita (*Agrolita*®) en proporción 70:10:10:10 (vol:vol). El manejo nutrimental consistió en el uso de *Osmocote*® 18-06-12, en dosis de 7 g L⁻¹, además de *Micromax*® a razón de 200 g m⁻³.

Un mes antes de someter las plantas a injertación, se trasplantaron a dos tipos de contenedores: macetas de 1.9 L y tubetes de 310 cm³. El sustrato consistió en una mezcla homogénea de *peat moss*, PRO-MIX FLX®, perlita y vermiculita en una proporción 6:3:1, respectivamente. A la mitad de las plantas patrón de cada tipo de contenedor (30 plantas) se les agregó 2 g L⁻¹ de *Osmocote Scotts*® 14-14-14, de 8 meses de liberación (fertilización ligera), y a la otra mitad (30 plantas), 7 g L⁻¹ del mismo material. A este segundo grupo, se le adicionó una solución nutritiva cada 15 días (fertilización pesada) (Landis *et al.*, 1989) hasta el final del período experimental para asegurar un abasto nutrimental suficiente (fertilización completa). La

mencionada solución nutritiva contiene todos los macros y micronutrientes, esta se conformó mediante el uso de materiales fertilizantes solubles disponibles en la región (Cuadro 1). El riego se aplicó cada tercer día; un grupo de 60 plantas se regó a 100 % de saturación y otro solo a 40 % de saturación.

Cuadro 1. Solución nutritiva sugerida por Landis *et al.* (1989) y materiales fertilizantes utilizados.

Nutriente mineral	Concentración (ppm)	Material fertilizante utilizado
Macronutriente		
N	50	Urea
P	60	Ácido fosfórico
K	150	Sulfato de potasio
Ca	80	Sagaquel Ca [®]
Mg	40	Sagaquel Mg [®]
S	60	Sulfato de potasio + sulfato de cobre
Micronutriente		
Fe	4	Sagaquel Fe [®]
Mn	0.8	Sagaquel Mn [®]
Zn	0.32	Sagaquel Zn [®]
Cu	0.15	Sulfato de cobre
B	0.5	Nutriboro [®]

Procedimiento de injertación

La injertación se realizó durante la segunda semana del mes de enero de 2021 en las instalaciones del Vivero Forestal del *Campus* Montecillo, Colegio de

Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19°27'46.8" N, 98°54'23" O; 2 240 msnm). La técnica de injertado implementada en el experimento fue la de fisura terminal descrita por Muñoz *et al.* (2011 y 2013), misma que ha dado mejores resultados que otras técnicas en *P. patula* (González-Jiménez *et al.*, 2022).

Previo a la injertación, las púas se lavaron durante tres tiempos: 1) inmersión en agua con solución preparada de jabón líquido comercial y cloro diluido al 1 % y se agitaron manualmente durante 5 minutos para asegurar la eliminación de polvo, resina y organismos que pudieran estar sobre su superficie; 2) enjuague con agua corriente y nuevamente se sumergieron en una segunda solución preparada con Captan® 1.5 g L⁻¹, durante 15 minutos para prevenir y evitar problemas fitosanitarios posteriores; y 3) se enjuagaron con agua corriente y se depositaron en una hielera para mantener los brotes frescos y turgentes antes de injertar púa por púa.

La técnica de injerto terminal consistió en hacer un corte transversal en la planta patrón, a 15 cm de altura, después de eliminar las acículas o fascículos presentes 3 cm abajo de la altura del corte. Posteriormente, se hizo un corte longitudinal de 3 a 5 cm justo en el centro del tallo del patrón, para que en esta hendidura se insertara la púa, a la que previamente se le realizaron dos cortes diagonales en lados opuestos de su base (del tamaño de la hendidura del patrón), con ello se dejó la púa en forma de "v".

La púa se insertó en la hendidura de la planta patrón, de tal manera que el cambium de ambos coincidiese. Una vez realizada la unión, se fijó con cinta Parafilm® en toda la herida para evitar problemas fitosanitarios en el área del injerto o la deshidratación de los tejidos del punto de unión. Finalmente, se colocó una bolsa de plástico transparente (30-40 días) que cubrió la totalidad de la púa, incluyendo la atadura de Parafilm®, para crear una atmósfera de humedad y temperatura adecuadas para el prendimiento. La bolsa se retiró gradualmente hasta lograr un injerto "prendido" y adaptado a las condiciones del invernadero. Una vez terminado el proceso de injertación, las plantas injertadas se acomodaron en un

espacio dentro del invernadero de manera completamente aleatoria y se implementaron las actividades complementarias de riego y fertilización de acuerdo con los tratamientos correspondientes.

Riego y fertilización soluble

El riego se realizó cada tercer día, desde el mes anterior a la injertación (11 de diciembre de 2020) hasta la conclusión de la fase experimental (20 de abril de 2021); en todo momento se ajustó el pH a 5.5. En cada fecha de riego, se seleccionaron cuatro plantas injertadas al azar por tipo de envase (macetas de 1.9 L y tubetes de 310 cm³) y se determinó, mediante el pesado de cada tubete, la cantidad de agua necesaria (en gramos) para saturar por completo el sustrato; la cual (de los cuatro envases) se incorporó a todos los envases con régimen de riego de saturación a 100 %. Solo 40 % de esa cantidad se aplicó a los envases cuyo régimen de riego fue de dicho porcentaje de saturación.

Para los tratamientos que recibieron fertilización soluble, se utilizó la solución nutritiva sugerida por Landis *et al.* (1989) (Cuadro 1), misma que se aplicó cada 15 días como parte de la fertilización complementaria al grupo de plantas que recibió 7 g L⁻¹ de fertilizante de liberación lenta, con ambas dosis se obtuvo una fertilización completa.

Además, en la semana que no se aplicó solución nutritiva, se preparó una solución de Captan® 1.5 g L⁻¹ para regar todas las plantas con la proporción de agua que les correspondió según el régimen de riego; lo anterior para prevenir problemas fitosanitarios que pudiesen influir en el éxito del injerto.

VARIABLES EVALUADAS

Se evaluó el prendimiento del injerto (*PI*) 70 días después de realizada la injertación, a partir de solo las púas vivas como injertos prendidos. También, se midió el diámetro basal del injerto (*DBI*) y la longitud del injerto (*LI*) a los 70 y 100 días posteriores al injertado. Con estas mediciones, se calcularon el índice de robustez (*IR*), los incrementos en diámetro basal del injerto (*IDBI*) y la longitud del injerto (*ILI*).

Con un vernier calibrador digital marca *Mitutoyo*[®] Modelo CD67-S6"PM, se obtuvieron las mediciones de *DBI* inmediatamente por arriba del punto de injertación; y la *LI* de este punto hasta la yema apical del injerto, para ello se utilizó una regla convencional de 30 cm. El *IR* se obtuvo dividiendo el *DBI/LI*; el *IDBI* con base en los diámetros basales correspondientes a la primera y segunda evaluación:

$$IDBI = DBI_{(100 \text{ días})} - DBI_{(70 \text{ días})}.$$

De forma análoga, el *ILI* se calculó con la diferencia de crecimiento en longitud entre la segunda y la primera evaluación:

$$ILI = LI_{(100 \text{ días})} - LI_{(70 \text{ días})}.$$

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial $2 \times 2 \times 2$: dos tipos de envase (tubete de 310 mL y maceta de 1.9 L), dos niveles de riego (100 % y 40 % de riego a saturación) y dos niveles de fertilización [2 g L⁻¹ de *Osmocote*[®] 14-14-14 solamente y 7 g L⁻¹ *Osmocote*[®] 14-14-14 + solución nutritiva de Landis *et al.* (1989)]. La combinación de los niveles de los tres factores probados resultó en ocho tratamientos, los cuales se replicaron 15 veces, y la unidad experimental estuvo representada por una planta injertada.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los factores y las interacciones sobre el *DBI*, *LI*, *IR*, *IDBI* e *ILI* con los datos de la evaluación a los 100 días.

El modelo del diseño experimental fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ijkl} = Valor de la variable respuesta del nivel i de A , nivel j de B , nivel k de C

μ = Media general

A_i = Efecto de nivel i del factor A (envase)

B_j = Efecto del nivel j del factor B (riego)

C_k = Efecto del nivel k del factor C (fertilización)

AB_{ij} = Interacción $A \times B$ correspondiente al nivel i de A y nivel j de B

AC_{ik} = Interacción $A \times C$ correspondiente al nivel i de A y nivel k de C

BC_{jk} = Interacción $B \times C$ correspondiente al nivel j de B y nivel k de C

ABC_{ijk} = Interacción $A \times B \times C$ correspondiente al nivel i de A , nivel j de B y nivel de k de C

ϵ_{ijkl} = Error experimental correspondiente a la repetición l del nivel i de A , j de B y k de C

Para analizar el prendimiento de los injertos (PI), debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza aun probando varias transformaciones de la variable, se aplicó la prueba no paramétrica de *Mann-Whitney* para detectar los efectos de los factores estudiados. Se hizo una comparación de medias por *Tukey*, con un valor de confiabilidad $\alpha=0.05$. Los análisis estadísticos se efectuaron con la versión 9.0 del programa estadístico *Statistical Analysis System* (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Prendimiento de los injertos

Después de 70 días de hecho el injerto, el porcentaje de prendimiento promedio (PI) fue de 72.5 %, el cual es relativamente alto comparado con el obtenido por Barrera-Ramírez *et al.* (2021), quienes registraron un PI de 41 % en *Pinus pseudostrobus* Lindl., pero cercano al logrado por Muñoz *et al.* (2013) en la misma

especie (82.8 %). A pesar de dicho porcentaje, la prueba estadística de *Mann-Whitney* indicó que los factores probados no afectaron de forma significativa el proceso (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de *Mann-Whitney* para el prendimiento de los injertos de fisura terminal de *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

Factor	Suma de puntajes	Puntaje medio	Pr<Z
	Envase		0.4881
Maceta	151.0	12.58	
Tubete	149.0	12.42	
	Fertilización		0.4406
Completa	147.0	12.25	
Ligera	153.0	12.75	
	Riego		0.3057
100 % de saturación	159.0	13.25	
40 % de saturación	141.0	11.75	

Hildebrant (2017) señaló que el contenedor del portainjerto debe ser de 5 a 10 cm de diámetro por 10 a 15 cm de profundidad para proporcionar a la planta un espacio suficiente para el crecimiento de las raíces. Sin embargo, en el presente estudio se evidenció que el prendimiento de los injertos fue similar con un volumen de contenedor de 310 mL que con uno de 1.9 L. La ausencia del efecto del volumen del contenedor probablemente se debió a que ninguno de los dos tamaños de contenedor limitó el crecimiento de las raíces, dado el tamaño relativamente pequeño de las plantas patrón.

En relación con la fertilización, Barrera-Ramírez *et al.* (2021) tampoco reconocieron efectos significativos de la fertilización del portainjerto sobre el prendimiento de los

injertos en *Pinus pseudostrobus* Lind. var. *oaxacana* (Mirov) S. G. Harrison. En cambio, determinaron que el prendimiento es afectado por factores asociados a la afinidad genética (procedencia del material), fenología (época de injertación) y tipo de injerto. Los estudios de Barnett y Miller (1994), Yin *et al.* (2012) y Goldschmidt (2014) confirman los efectos de la afinidad genética del portainjertos y la púa sobre el prendimiento. Estos autores afirman que una mayor compatibilidad genética entre los componentes del injerto implica mayor afinidad anatómica, morfológica, fisiológica y bioquímica, así como más probabilidad de éxito en el prendimiento del injerto.

En el experimento aquí descrito, la cantidad de agua aplicada antes y después de la operación de injertación no afectó el prendimiento del injerto ($Pr < 0.3057$, Cuadro 2). Es muy probable que esa falta de efecto se deba a la disminución de la tasa de transpiración de la púa que se logró mediante la colocación de una bolsa de polietileno transparente durante la injertación. Dabirian y Miles (2017) demostraron que la disminución de la tasa de transpiración en la púa y la aplicación de sustancias antitranspirantes, efectivamente, mejora las tasas de prendimiento en sandía (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. & Nakai). En la injertación de especies forestales es común el uso de bolsas transparentes para cubrir las púas y disminuir la transpiración (López, 2020; Pérez-Luna *et al.*, 2020; González-Jiménez *et al.*, 2022). En este trabajo no se evaluaron las tasas de transpiración de las púas, pero es posible que se hallan reducido de forma tal que los dos niveles de riego probados fueron suficientes para abastecer adecuadamente de agua a las púas.

Variables morfológicas

El diámetro basal del injerto (*DBI*) y la longitud del injerto (*LI*) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tipos de envase, niveles de fertilización y de riego, pero no para las interacciones (Cuadro 3); por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula planteada. Lo anterior sugiere que los efectos individuales de un factor sobre estas variables son independientes del nivel de los otros factores, y que los efectos de estos son aditivos (Berrington y Cox, 2007).

Cuadro 3. Análisis de varianza del efecto de dos tipos de envase, dos regímenes de fertilización y dos regímenes de riego y sus interacciones sobre variables morfológicas de injertos de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham.

Fuente de variación	Diámetro basal del injerto (DBI)	Longitud del injerto (LI)	Índice de robustez (IR)	Incremento en diámetro (IDBI)	Incremento en longitud (ILI)
Tipo de envase	0.0004*	<0.0001*	0.1840	0.6394	0.0091*
Régimen de fertilización	0.0026*	0.0292*	0.4248	0.0079*	0.0193*
Régimen de riego	0.0103*	0.0006*	0.0216*	0.7204	0.1433
Tipo de envase × Régimen de fertilización	0.8367	0.1122	0.1010	0.0746	0.0082*
Tipo de envase × Régimen de riego	0.9468	0.7554	0.9602	0.3010	0.3047
Régimen de fertilización × Régimen de riego	0.8478	0.1696	0.2249	0.7933	0.0742
Tipo de envase × Régimen de fertilización × Régimen de riego	0.4061	0.4268	0.0589	0.8597	0.0988

La importancia de preparar los portainjertos antes de someterlos a injertación radica principalmente en que son los responsables de aportar el sistema radical, que a su vez proveerá de agua y nutrimentos al injerto (Ranjith e Ilango, 2017; Kita et

al., 2018). El desarrollo del sistema radical depende del espacio disponible para crecer, y de acuerdo con Landis (1990), el tipo de envase (tamaño y color) afecta directamente la temperatura del sustrato y esta el desarrollo de la raíz. Además de, determinar el espacio de crecimiento para la raíz, el volumen del contenedor constituye el tamaño de los reservorios de agua y nutrientes para la planta (Pershey, 2014). En consecuencia, el tipo de envase incide no solo en el sistema radical de la planta compuesta, sino también en el crecimiento en diámetro y altura de las plantas (Castro-Garibay *et al.*, 2018).

Copes (1980) cita que el vigor de los portainjertos es determinante para el crecimiento posterior del injerto; de tal manera, que cuando el portainjerto es pequeño o poco vigoroso, el injerto frecuentemente presenta un crecimiento plagiotrópico, en contraste con el crecimiento ortotrópico de injertos sobre patrones vigorosos y bien enraizados. El vigor del portainjerto depende, entre otros factores del tamaño del contenedor (Landis, 1990), lo que posiblemente explica el mayor crecimiento del injerto en el contenedor de 1.5 L, comparado con el de 310 mL (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias de *Tukey* ($\alpha=0.05$) para las variables morfológicas y de calidad en injertos de *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

Factor	Nivel	DBI	LI	IR	IDBI	ILI
Envase	Maceta	6.1709 a	28.191 a	0.27445 a	0.41093 a	10.0047 a
	Tubete	5.535 b	20.483 b	0.32683 a	0.44571 a	7.4762 b
Fertilizante	7 g L ⁻¹ + solución nutritiva	6.1072 a	26.021 a	0.28577 a	0.52837 a	9.8256 a
	2 g L ⁻¹	5.6002 b	22.705 a	0.31525 a	0.32548 b	7.6595 b
Riego	100 %	6.0222 a	27.236 a	0.2604 b	0.40378 a	9.2244 a
	40 %	5.6705 b	21.173 b	0.34526 a	0.4555 a	8.2275 a

DBI = Diámetro basal del injerto; *LI* = Longitud del injerto; *IR* = Índice de robustez; *IDBI* = Incremento en diámetro; *ILI* = Incremento en longitud.

Una vez que el injerto prende se tiene una planta completa (compuesta), cuyo crecimiento es afectado por los mismos factores que definen el crecimiento de una planta no injertada, además de otros asociados a la propia planta compuesta como aspectos hormonales y permanencia o no de la compatibilidad física entre patrón e injerto (Verdugo-Vásquez *et al.*, 2021). Sin embargo, en el presente estudio se observó una unión firme entre patrón y púa, sin deformaciones callosas hasta el momento de la evaluación del experimento.

El uso de fertilizantes minerales de liberación lenta aumenta el crecimiento longitudinal de la planta (Cañellas *et al.*, 1999), en función de la cantidad y tipo de nutrimentos que contenga. Por esta razón, para producir portainjertos Pérez-Luna *et al.* (2021) utilizaron con buenos resultados de supervivencia de los injertos: 10 g L⁻¹ de *Multicote*® 6: 18-6-12 (NPK) + micronutrimentos: mientras que Barrera-Ramírez *et al.* (2021) aplicaron tres dosis distintas de fertilización: 3, 5 y 8 kg de fertilizante de liberación controlada *Multicote*® 15-7-15 (NPK) + 2 MgO + micronutrimentos por metro cúbico de sustrato, y lograron mejores resultados con la dosis alta de fertilizante.

En el presente experimento, el nivel de fertilización influyó sobre el crecimiento en diámetro basal del injerto (*DBI*), ya que aumentó cuando se aplicó una fertilización completa (7 g L⁻¹ de *Osmocote* 14-14-14 + solución nutritiva de Landis *et al.* (1989) (Cuadro 4). Sin embargo, no ocurrió lo mismo con la longitud del injerto (*LI*), pues no existieron diferencias estadísticas significativas en la elongación del brote, como tampoco sucedió con el *IR*. Los incrementos (entre la primera y segunda evaluación) en diámetro y elongación del brote aumentaron con la fertilización completa, en coincidencia con lo indicado por Mutabaruka *et al.* (2015) en *Castanea sativa* Mill.

La tasa de riego que recibieron los injertos marcó diferencias significativas en el *DBI* (5.6705 vs 6.0222 mm, con 40 y 100 % de saturación, respectivamente) y *LI* (21.173 vs 27.236 cm, con 40 y 100 % de saturación, respectivamente); con

mayores crecimientos cuando el sustrato se saturó a 100 %; No obstante, Hibbert-Frey *et al.* (2011) concluyeron que la disponibilidad de agua no afectó el crecimiento de la púa al injertar brotes de *Abies fraseri* (Pursh) Poir. en portainjertos de *Abies bornmuelleriana* Mattf.; aunque en ese caso, la interespecificidad del injerto pudo influir en el resultado.

El índice de robustez (*IR*) del injerto presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tasas de riego (Cuadro 3). El *IR* es un indicador de resistencia de la planta a la desecación por viento, de supervivencia y crecimiento en sitios secos, además es un criterio que se considera en la producción de plantas de calidad. Sáenz *et al.* (2014) citan que para mejorar el *IR* es necesario producir plantas en contenedores grandes que favorecen el desarrollo de la raíz. En proyectos de injertación, esta variable no se ha incluido; sin embargo, será necesario establecer los injertos en campo y determinar su comportamiento en relación con el índice.

Al incremento en diámetro basal del injerto (*IDBI*) solo lo afectó significativamente ($p \leq 0.05$) el régimen de fertilización y al incremento en longitud del injerto (*ILI*), el tipo de envase, la fertilización y la interacción doble tipo de envase \times régimen de fertilización, ello indica que el efecto del envase sobre la longitud del injerto es afectado por el régimen de fertilización y viceversa.

La comparación de medias de *Tukey* ($\alpha = 0.05$; Cuadro 4) evidenció diferencias estadísticas entre niveles de los factores estudiados. El crecimiento tanto en diámetro como en longitud del injerto fue mayor cuando se utilizó planta patrón en un envase más grande, una fertilización completa y un riego pesado (efectos aditivos de los factores probados) (Berrington y Cox, 2007). Esto debiese considerarse, si el objetivo del injertador o viverista es incrementar las tasas de crecimiento de las plantas compuestas (injertadas), especialmente en diámetro y longitud.

Conclusiones

Con base en la variación inducida por los diversos tratamientos aplicados, la técnica de injertación de fisura terminal en *Pinus patula* durante la temporada de invierno registra un porcentaje de prendimiento promedio de 72.5 %. El porcentaje de prendimiento de los injertos no se afecta por los niveles probados de riego, fertilización y contenedor.

En el crecimiento en diámetro y longitud del injerto incide el régimen de riego, el de fertilización y las dimensiones del contenedor. La combinación de mayor volumen del contenedor, fertilización completa y riego a saturación cada tercer día produce mayor desarrollo del injerto.

El índice de robustez (*IR*) solo es influido por el riego, el incremento en diámetro basal (*IDBI*) por la fertilización; y el incremento en longitud del injerto (*ILI*) por el envase y la fertilización, así como por la doble interacción tipo de envase × régimen de fertilización.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), por el apoyo económico brindado con la beca Número 1010725 para realizar los estudios de maestría del primer autor. Al M. en C. Benito González Jiménez por su apoyo en la etapa de injertación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Edgar David López Avendaño: planeación y conducción de la investigación en vivero, toma de datos y análisis estadístico, estructura y redacción del escrito; Miguel Ángel López López: planeación de la investigación y acompañamiento durante el experimento, análisis y validación de datos, corrección del manuscrito; Carlos Ramírez Herrera: asesoramiento al proyecto, recolección de material vegetal en campo y corrección del manuscrito; Manuel Aguilera Rodríguez: asesoramiento al proyecto y corrección del escrito.

Referencias

Barnett, J. R. and H. Miller. 1994. The effect of applied heat on graft union formation in dormant *Picea sitchensis* (Bong.) carr. *Journal of Experimental Botany* 45(1):135-143. Doi: 10.1093/jxb/45.1.135.

Barrera-Ramírez, R., J. J. Vargas-Hernández, R. López-Aguillón, H. J. Muñoz-Flores, E. J. Treviño-Garza and O. A. Aguirre-Calderón. 2021. Impact of external and internal factors on successful grafting of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 27(2):243-256. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.05.037.

Berrington de G., A. and D. R. Cox. 2007. Interpretation of interactions: a review. *The Annals of Applied Statistics* 1(2):371-385. Doi: 10.1214/07-AOAS124.

Camcore. 2008. ¿Estamos más cerca de entender la ascendencia de las poblaciones de “la variante Patula” en la Sierra Madre del Sur? Boletín de noticias Camcore para México y Centroamérica 2(2):1. https://camcore.cnr.ncsu.edu/files/2015/04/boletincamcore2008_2abril.pdf. (27 de abril de 2022).

Cañellas, I., L. Finat, A. Bachiller y G. Montero. 1999. Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetales 8(2):335-359. <https://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/619/616>. (14 de diciembre de 2021).

Castro-Garibay, S. L., A. Aldrete; J. López-Upton y V. M. Ordáz-Chaparro. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. *australis* en vivero. Agrociencia 52(1):115-127. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n1/1405-3195-agro-52-01-115.pdf>. (14 de octubre de 2021).

Copes, D. L. 1980. Effect of rootstock vigor on leader elongation, branch growth, and plagiotropism in 4- and 8-year-old Douglas-fir grafts. Tree Planters' Notes 31(1):11-14. https://rngr.net/publications/tpn/31-1/31_1_11_14.pdf. (12 de febrero de 2022).

Dabirian, S. and C. A. Miles. 2017. Increasing survival of splice-grafted watermelon seedlings using a sucrose application. HortScience 52(4):579-583. Doi: 10.21273/HORTSCI11667-16.

Darikova, Y. A., E. A. Vaganov, G. V. Kuznetsova and A. M. Grachev. 2013. Changes in the anatomical structure of tree rings of the rootstock and scion in the heterografts of Siberian pine. Trees 27:1621-1631. Doi: 10.1007/s00468-013-0909-6.

Dvorak, W. S. 2002. *Pinus patula* Schiede & Schltdl. & Cham. In: Vozzo, J. A. (edit.). Tropical tree seed manual. Agricultural Handbook 721. United State Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. pp. 632-635.

- Farjon, A. and B. T. Styles. 1997. *Pinus* (pinacea). Flora Neotropica, Monograph 75. Organization for Flora Neotropica and New York Botanical Garden. New York, NY, USA. 293 p.
- Goldschmidt, E. E. 2014. Plant grafting: new mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science* 5:1-9. Doi: 10.3389/fpls.2014.00727.
- González-Jiménez, B., M. Jiménez-Casas, J. López-Upton, M. Á. López-López and R. Rodríguez-Laguna. 2022. Combination of grafting techniques to clone superior genotypes of *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham. *Agrociencia* 56(5):993-1017. Doi: 10.47163/agrociencia.v56i5.2582.
- Hibbert-Frey, H., J. Frampton, F. A. Blazich, D. Hundley and L. E. Hinesley. 2011. Grafting fraser fir (*Abies fraseri*): Effect of scion origin (crown position and branch order). *HortScience* 46(1):91-94. Doi: 10.21273/HORTSCI.46.1.91.
- Hildebrant, T. 2017. *Conifer propagation*. American Conifer Society. <https://conifersociety.org/conifers/articles/conifer-propagation-101/>. (21 de febrero de 2022).
- Jayawickrama, K. J. S., J. B. Jett and S. E. McKeand. 1991. Rootstock effects in grafted conifers: A review. *New Forest* 5:157-173. Doi: 10.1007/BF00029306.
- Kita, K., H. Kon, W. Ishizuka, E. Agathokleous and M. Kuromaru. 2018. Survival rate and shoot growth of grafted Dahurian larch (*Larix gmelinii* var. japonica): a comparison between Japanese larch (*L. kaempferi*) and F₁ hybrid larch (*L. gmelinii* var. japonica × *L. kaempferi*) rootstocks. *Silvae Genetic* 67(1):111-116. Doi: 10.2478/sg-2018-0016.
- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1989. The container tree nursery manual. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. Agriculture Handbook. 674. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. 119 p.
- Landis, T. D. Containers: Types and functions. In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett. 1990. The container tree nursery manual. Containers

and growing media. Vol. 2. Agriculture Handbook 674. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC, USA. pp. 1-39.

López L., J. Á. 2020. Manejo de un huerto semillero y banco clonal de *Pinus douglasiana* Martínez en Jalisco. Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal del Estado de Jalisco (Fiprodefo). Guadalajara, Jal., México. 210 p.

Lott, L. H., L. M. Lott, M. Stine, T. L. Kubisiak and C. D. Nelson. 2003. Top grafting longleaf × slash pine F1 hybrids on mature longleaf and slash pine interstocks. In: Tree Improvement and Genetics-27th Sothern Forest Tree Improvement Conference. Oklahoma State University. Oklahoma, OK, USA. pp. 96–101.

Moore, R. 1984. A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. American Journal of Botany 71(5):752–758. Doi: 10.1002/j.1537-2197.1984.tb14182.x.

Mudge., K., J. Janick, S. Scofield and E. E. Goldschmidt. 2009. A history of grafting. Horticultural Reviews 35:437-493. Doi: 10.1002/9780470593776.ch9.

Muñoz F., H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A., R. Toledo B. y H. Aguilar G. 2011. Validación de dos métodos de injerto de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Michoacán. Folleto técnico Núm. 24. INIFAP-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich., México. 43 p.

Muñoz F., H. J., J. Á. Prieto R., A. Flores G., T. Pineda O. y E. Morales G. 2013. Técnicas de injertado "enchapado lateral" y "fisura terminal" en *Pinus pseudostrobus* Lindl. Folleto técnico Núm. 68. INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. 48 p.

Mutabaruka, C., H. F. Cook and G. P. Buckley. 2015. Effects of drought and nutrient deficiency on grafts originating from sound and shaken sweet chestnut trees (*Castanea sativa* Mill.). iForest-Biogeosciences and Forestry 9(1):109-114. Doi: 10.3832/ifor1572-008.

Pérez-Luna, A., J. Á. Prieto-Ruíz, J. López-Upton, A. Carrillo-Parra, ... and J. C.

- Hernández-Díaz. 2019. Some factors involved in the success of side veneer grafting of *Pinus engelmannii* Carr. *Forests* 10(2):112-129. Doi: 10.3390/f10020112.
- Pérez-Luna, A., C. Wehenkel, J. Á. Prieto-Ruíz, J. López-Upton, ... and J. C. Hernández-Díaz. 2020. Grafting in conifers: A review. *Pakistan Journal of Botany* 52(4):1369–1378. Doi: 10.30848/PJB2020-4(10).
- Pérez-Luna, A., J. C. Hernández-Díaz, C. Wehenkel, S. L. Simental-Rodríguez, J. Hernández-Velasco and J. Á. Prieto-Ruíz. 2021. Graft survival of *Pinus engelmannii* Carr. in relation to two grafting techniques with dormant and sprouting buds. *PeerJ* 9:e12182. Doi: 10.7717/peerj.12182.
- Perry, J. P. 1991. *The pines of Mexico and Central American*. Timber Press. Austin, TX, USA. 231 p.
- Pershey, N. A. 2014. Reducing water use, runoff volume, and nutrient movement for container nursery production by scheduling irrigation based on plant daily water use. Master of Science Thesis, Horticulture, Michigan State University. East Lansing, MI, USA. 151 p.
- Pina, A. and P. Errea. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. *Scientia Horticulturae* 106(1):1–11. Doi: 10.1016/j.scienta.2005.04.003.
- Ranjith, K. and R. V. J. Ilango. 2017. Impact of grafting methods, scion materials and number of scions on graft success, vigour and flowering of top worked plants in tea (*Camellia* spp.). *Scientia Horticulturae* 220:139–146. Doi: 10.1016/j.scienta.2017.03.039.
- Rivera-Rodríguez, M. O., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, Á. Villegas-Monter y M. Jiménez-Casas. 2016. Enraizamiento de estacas de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39(4):385-392. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v39n4/0187-7380-rfm-39-04-00385.pdf>. (22 de abril de 2022).

Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., C. M. Á. Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26):98-111. Doi: 10.29298/rmcf.v5i26.293.

Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS 9.0. Cary, NC, USA. SAS Institute.

Valdés, A. E., M. L. Centeno and B. Fernández. 2003. Changes in the branching pattern of *Pinus radiata* derived from grafting are supported by variations in the hormonal content. *Plant Science* 165(6):1397-1401. Doi: 10.1016/j.plantsci.2003.08.003.

Vargas-Hernández, J. J. and J. I. Vargas-Abonce. 2016. Effect of giberellic acid (GA_{4/7}) and girdling on induction of reproductive structures in *Pinus patula*. *Forest Systems* 25(2):e063. Doi: 10.5424/fs/2016252-09254.

Velázquez M., A., Á. Pérez y G. Llanderal O. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Comisión Nacional Forestal (Conafor) y Colegio de Postgraduados (Colpos). Coyoacán, D. F., México 124 p.

Verdugo-Vázquez, N., G. Gutiérrez-Gamboa, I. Díaz-Gálvez, A. Ibacache and A. Zurita-Silva. 2021. Modifications induced by rootstocks on yield, vigor and nutritional status on *Vitis vinifera* Cv Syrah under hyper-arid conditions in Northern Chile. *Agronomy* 11(5):979-983. Doi: 10.3390/agronomy11050979.

Villaseñor, R. R. y M. V. S. Carrera G. 1980. Tres ensayos de injertado en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ciencia Forestal en México* 5(23):21-36.

Wang, Y. 2011. Plant grafting and its application in biological research. *Chinese Science Bulletin* 56(33):3511-3517. Doi: 10.1007/s11434-011-4816-1.

Wright, J. W. 1976. *Introduction to Forest Genetics*. Academic Press, Inc. Los Angeles, CA, USA. 463 p.

Yin, H., B. Yan, J. Sun, P. Jia, ... H. Liu. 2012. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. *Journal of Experimental Botany* 63(11):4219-4232. Doi: 10.1093/jxb/ers109.



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.