



DOI: [10.29298/rmcf.v14i76.1315](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1315)

Artículo de Investigación

## Supervivencia de injertos de tres especies de *Pinus* con dos técnicas y dos métodos cicatrizantes

### Survival of grafts of three *Pinus* species with two techniques and two healing methods

Alberto Pérez-Luna<sup>1</sup>, Jesús Alejandro Soto-Cervantes<sup>2</sup>, Rosa Elvira Madrid-Aispuro<sup>2</sup>, José Ángel Sigala-Rodríguez<sup>3</sup>, Santiago Solís-González<sup>4</sup>, José Ángel Prieto-Ruíz<sup>2\*</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 13 de octubre de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 17 de febrero del 2023

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. México.

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

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana. México.

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico de El Salto. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [jprieto@ujed.mx](mailto:jprieto@ujed.mx)

\*Corresponding author; e-mail: [jprieto@ujed.mx](mailto:jprieto@ujed.mx)

#### Resumen

El injertado es el método de propagación vegetativa más utilizado en coníferas para clonar genotipos superiores de especies forestales. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos técnicas de injertado (fisura terminal y enchapado lateral) y dos métodos de cicatrización (natural y aplicación de cera cicatrizante) en tres especies de importancia económica en Durango: *Pinus engelmannii*, *P. cooperi* y *P. durangensis*. El experimento se estableció con un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial 3×2×2 y nueve repeticiones. La supervivencia final se evaluó a los 180 días. El efecto de los tratamientos individuales y sus interacciones se determinó con las pruebas *Kruskal-Wallis*, *Dunn* y *Dunnnett*. Se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ); la supervivencia mayor fue de 32.9 % en *P. engelmannii*, 16.3 % en enchapado lateral y 16.9 % con cera cicatrizante. Las dobles interacciones especie × técnica de injerto y especie × método de cicatrización registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), además de la triple interacción. Los valores más altos de supervivencia se observaron en injertos de enchapado lateral y fisura terminal de *P. engelmannii*, con 40 y 25.8 %, respectivamente, así como en los injertos de *P. engelmannii* con aplicación de cera, cuyo valor fue de 43.3 %. La mejor triple interacción fue la de injertos de enchapado lateral de *P. engelmannii* con cera cicatrizante (50 %). *P. engelmannii* respondió mejor al injertado. En *P. cooperi* y *P. durangensis* se recomienda buscar otras técnicas de injertado.

**Palabras clave:** Cera cicatrizante para injertos, clonación de genotipos superiores, injertado de pinos, injerto de enchapado lateral, injerto de fisura terminal, propagación vegetativa.

#### Abstract

Grafting is the most widely used vegetative propagation method in conifers to clone superior genotypes of forest species. The objective of the present study was to evaluate the effect of two grafting techniques (terminal cleavage and side veneer) and two healing methods (natural and application of healing wax) in three economically important species in Durango: *Pinus engelmannii*, *P. cooperi*, and *P. durangensis*. The experiment was established using a randomized complete block design with a 3×2×2 factorial arrangement and nine

replications. Final survival was assessed at 180 days. The effect of individual treatments and their interactions was determined with Kruskal-Wallis, Dunn, and Dunnett tests. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were obtained; the highest survival rate for *P. engelmannii* was 32.9 %, 16.3 % with side-veneer grafting, and 16.9 % with the use of healing wax. The double interactions between species and grafting technique, and between species and healing method showed significant differences ( $p < 0.05$ ), in addition to the triple interaction. The highest survival values were observed in side-veneer and terminal-cleft grafts of *P. engelmannii*, with 40 and 25.8 %, respectively, as well as in the grafts of *P. engelmannii* with wax application, whose value was 43.3 %. The best triple interaction was that of side-veneer grafts of *P. engelmannii* with healing wax (50 %). *P. engelmannii* responded best to grafting. For *P. cooperi* and *P. durangensis*, it is recommended to search for alternative grafting techniques.

**Key words:** Healing wax for grafting, cloning of superior genotypes, grafting of pines, side-veneer grafting, terminal-cleft grafting, vegetative propagation.

## Introducción

El mejoramiento genético es fundamental en el manejo sustentable de los recursos forestales (Zobel y Talbert, 1984), ya que permite obtener semilla de alta calidad genética y en cantidad abundante (Yuan *et al.*, 2016), lo que se logra en huertos semilleros sexuales o asexuales, en estos últimos con mayor ganancia genética, donde se pueden realizar polinizaciones controladas para cruzar individuos de alto valor genético (Stewart *et al.*, 2016).

Para establecer huertos semilleros asexuales, se clonan árboles con características fenotípicas de interés económico; el método más empleado es el injerto (Muñoz *et al.*, 2013). Las técnicas de injertado, principalmente las de enchapado lateral y fisura terminal, se han evaluado en la propagación de pinos mexicanos, tal es el caso de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. (Aparicio-Rentería *et al.*, 2013; González-Jiménez *et al.*, 2022), *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) S. G. Harrison (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021), *P. engelmannii* Carrière (Pérez-Luna *et al.*, 2021) y *P. rzedowskii* Madrigal & Caball. Del. (Solario-Barragán *et al.*, 2021) con resultados diferentes para cada caso.

Sin embargo, debido a que en la mayoría de los estudios de injertado de especies del género *Pinus* la supervivencia ha sido menor a 50 %, es necesario buscar alternativas sobre técnicas que incrementen ese porcentaje (Pérez-Luna *et al.*, 2020a) en las que se consideren la edad y calidad de la planta patrón como factores importantes (Castro-Garibay *et al.*, 2022; González-Jiménez *et al.*, 2022). En cuanto a las púas, el uso de brotes del último año de crecimiento favorece el injertado (Pérez-Luna *et al.*, 2021). Por otra parte, proteger el área de cicatrización mediante ceras o pastas fortalece la unión del injerto y disminuye el riesgo de pudrición de los tejidos (Muñoz *et al.*, 2013); no obstante, este tema ha sido poco estudiado (Pérez-Luna *et al.*, 2020a).

*Pinus engelmannii*, *P. cooperi* C. E. Blanco y *P. durangensis* Martínez son especies de la subsección Ponderosae distribuidas en el norte de México y el sur de Estados Unidos de América, en la Sierra Madre Occidental (García y González, 2003); además, son ampliamente usadas para establecer plantaciones forestales comerciales en el norte de México, particularmente, en el estado de Durango (Martínez y Prieto, 2011).

Por lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la técnica de injertado y el método de cicatrización en la supervivencia de injertos de *P. engelmannii*, *P. cooperi* y *P. durangensis*. La hipótesis fue que existe un efecto significativo en la supervivencia de injertos en función de la especie, la técnica de injertado y el método de cicatrización.

## **Materiales y Métodos**

### **Recolección de púas**

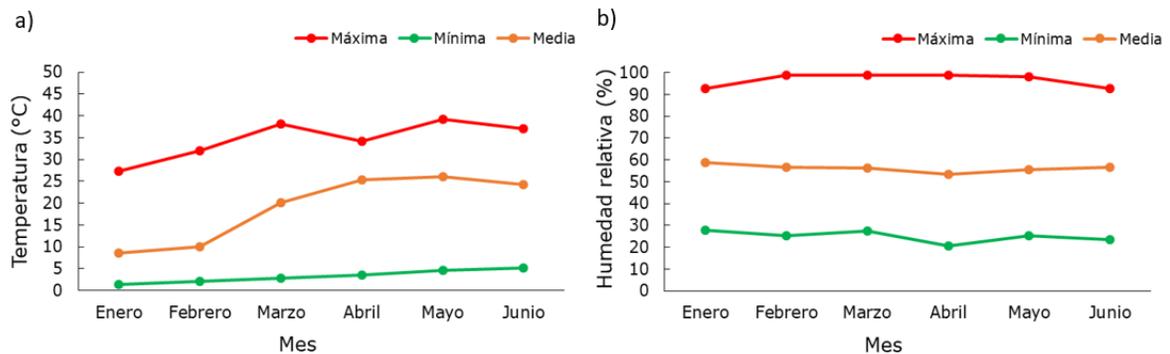
Se recolectaron 40 púas por orteto de 10 árboles superiores de cada especie evaluada. Los árboles se seleccionaron con base en sus características fenotípicas superiores: altura dominante, fuste recto, poda natural eficiente, tamaño pequeño de copa, inserción de ramas en ángulo cercano a 90° y sin daños por plagas y enfermedades (Pérez-Luna *et al.*, 2020a). Las púas de *P. engelmannii* se recolectaron en un rodal semillero ubicado en el ejido La Campana, municipio Pueblo Nuevo, Durango; localizado en las coordenadas 23°48'51.2" N y 105°29'55.4" O, a una altitud de 2 802 m. Las púas de *P. cooperi* y *P. durangensis* se obtuvieron en un rodal semillero del ejido La Victoria, municipio Pueblo Nuevo, Durango, ubicado en las coordenadas 23°45'12.13" N y 105°22'15.74" O, a una altitud de 2 653 m.

Las recolectas se realizaron entre el 26 y 30 de enero de 2014; para su traslado al sitio de injertado, el material vegetal se puso en cajas de plástico cubiertas con aserrín humedecido con una solución a base de agua con 5 g L<sup>-1</sup> de fungicida Captán (Captán® 50 WP). Las púas se injertaron un día posterior a su recolección.

### **Sitio de injertado**

El injertado se realizó en un invernadero tipo batitunel, de 20 m de largo × 5 m de ancho (100 m<sup>2</sup>) y 2.4 m de altura, con cubierta de plástico blanco calibre 720 micras, localizado en el Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Durango, México, en las

coordenadas 23°59'11.14" N y 104°37'20.54" O, a una altitud de 1 879 m. Sobre la cubierta de plástico se colocó una malla sombra de 60 % de retención de luz para reducir la incidencia de la radiación solar dentro del invernadero. Se registraron la temperatura (Figura 1a) y humedad relativa (Figura 1b) en los meses que duró el experimento con un termohigrómetro *Datalogger* marca *Elitech*® modelo Rc-4hc.



**Figura 1.** Registro mensual de valores máximo, mínimo y medio: a) temperatura, y b) humedad relativa.

## Producción de patrones

La planta patrón se produjo en charolas de poliestireno expandido de 77 cavidades de 170 mL de capacidad por cavidad, con un sustrato a base de turba (60 %), perlita (20 %) y vermiculita (20 %). A los ocho meses de edad, las plantas fueron reembolsadas a bolsas de plástico negro de 5 L, calibre 700  $\mu$ , con un sustrato compuesto por turba (60 %) y corteza compostada (40 %). Los patrones tenían tres años de edad al momento del injertado. Las características promedio de altura

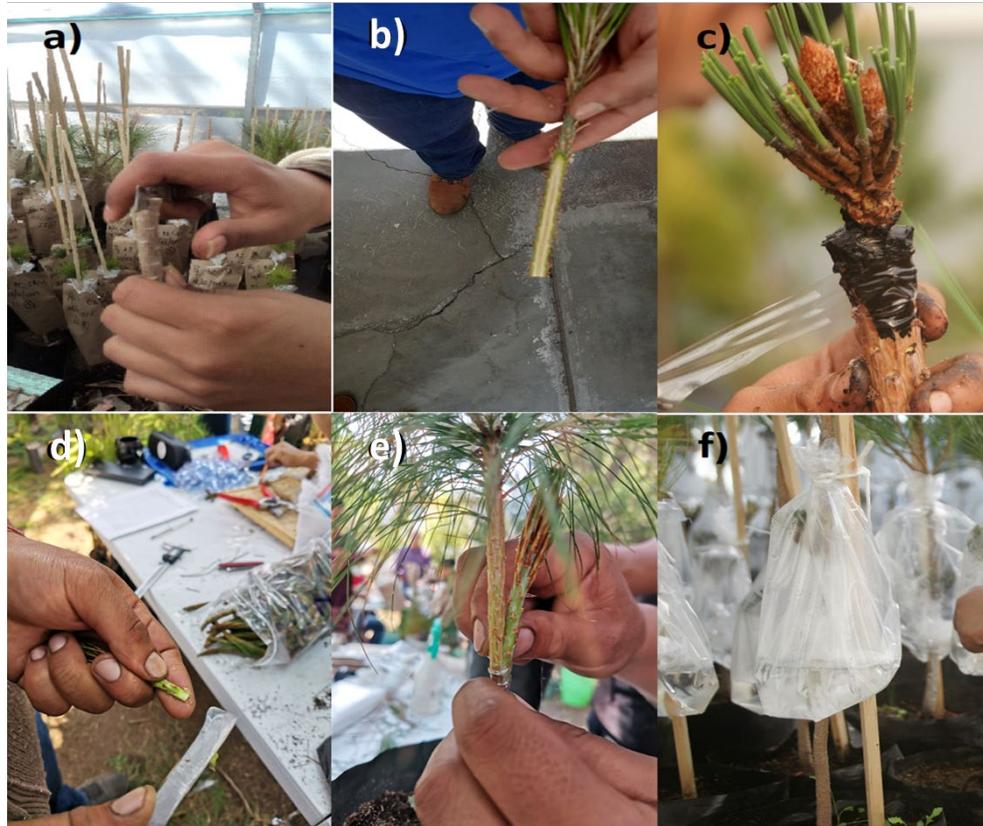
y diámetro de los patrones, así como el diámetro de las púas y la altura de injertado por especie, se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Promedios  $\pm$  desviación estándar de las medidas dasométricas de los patrones y púas injertadas.

<b>Especie</b>	<b>Altura del patrón (cm)</b>	<b>Diámetro del patrón (mm)</b>	<b>Diámetro de la púa (mm)</b>	<b>Altura de injertado (cm)</b>
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière	48.13 $\pm$ 10.98	13.73 $\pm$ 2.39	13.53 $\pm$ 2.42	30.26 $\pm$ 11.07
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	50.91 $\pm$ 16.16	8.58 $\pm$ 1.95	8.35 $\pm$ 1.85	33.10 $\pm$ 16.17
<i>Pinus durangensis</i> Martínez	54.59 $\pm$ 10.64	9.05 $\pm$ 1.60	8.74 $\pm$ 1.57	26.33 $\pm$ 8.57

## Injertado

Los injertos se realizaron el 27 y 31 de enero de 2014, con yemas en latencia, estadio fenológico recomendado para realizar injertos de coníferas (Muñoz *et al.*, 2013). El injerto de fisura terminal se hizo con un corte del tallo del patrón a la altura donde coincidía su diámetro con respecto al de la púa (Cuadro 1), seguido de un corte radial de 4 cm de profundidad en la parte media de la sección transversal del patrón (Figura 2a). En la púa se efectuaron dos cortes tangenciales de 4 cm de longitud en los extremos de la ramilla (Figura 2b) de tal manera que cada corte de la púa terminó con una ligera inclinación en la parte inferior para formar una cuña que se colocó y empató con el corte hecho en el patrón (Figura 2c).



**Figura 2.** Técnicas de injertado: a) Corte transversal y longitudinal realizado al patrón; b) Corte en la púa para injerto de fisura terminal; c) Empate de injerto de fisura terminal con aplicación de cera cicatrizante en la sección externa de la unión del injerto; d) Corte de la púa para injerto de enchapado lateral; e) Empate de injerto de enchapado lateral; f) Microclima generado para mantener alta humedad relativa en el área de injertado.

Para el injerto de enchapado lateral se realizó un corte tangencial de 4 cm de longitud donde coincidió el diámetro de la púa y el patrón, con una pequeña hendidura de 1 cm de profundidad en la base del corte (Figura 2d). En la púa, se hizo un corte tangencial de 5 cm de longitud en una de sus carillas y se realizó un segundo corte tangencial en la carilla paralela a la base del primer corte, con una longitud de 1 cm para lograr un empate adecuado con los cortes en forma de hendidura generados en el patrón (Figura 2e). Los injertos los llevó a cabo un solo injertador.

La unión del injerto se amarró con hule cristal calibre 4 mm y se selló con pintura vinílica blanca. Para reducir el riesgo de contaminación por patógenos en el área del injerto, a la pintura se le aplicó fungicida Captán (Captán® 50 WP) en dosis de 5 g L<sup>-1</sup>. La humedad relativa en la zona de injertado se mantuvo elevada con una bolsa de plástico transparente que contenía agua (microclima) (Figura 2f). Encima de la bolsa del microclima, se colocó una bolsa de papel estraza para mejorar las condiciones de temperatura e impedir que la radiación solar directa incidiera sobre el injerto. Los cepellones de los injertos se regaron cada tercer día con agua y fertilizante hidrosoluble triple 19 (Poly feed Gg®) a una dosis de 3 g L<sup>-1</sup>. La bolsa de papel estraza se retiró a los 30 días del injertado. A los 45 días se hizo una abertura en las bolsas que contenían el agua, y a los 60 días se quitó el agua del microclima. Finalmente, a los 70 días se eliminó por completo el microclima.

## **Tratamientos y diseño experimental**

Se evaluaron 12 tratamientos, producto de tres especies (*P. engelmannii*, *P. cooperi* y *P. durangensis*), dos técnicas de injertado (fisura terminal y enchapado lateral) y dos métodos de cicatrización (natural y aplicación de cera cicatrizante Arbolsán®). Por especie, se realizaron 288 injertos: 144 con la técnica de enchapado lateral y 144 con la técnica de fisura terminal. De cada técnica, a la mitad (72) se le aplicó cera cicatrizante a base de resina (Arbolsán®) en la sección externa de la unión del injerto, sin obstruir el cambium de la púa y del patrón; la otra mitad (72) estuvo sin protección con cera. En total se realizaron 864 injertos.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo factorial  $3 \times 2 \times 2$ . Cada bloque contenía los factores individuales evaluados (especie, técnica de injertado y método de cicatrización); se evaluaron 96 injertos, 48 provenían de fisura terminal y 48 de enchapado lateral. En cada técnica, por especie evaluada correspondieron 16 y por taxón se realizaron ocho injertos con cicatrización natural y ocho injertos con pasta cicatrizante. Un bloque tuvo nueve repeticiones, con ocho injertos por unidad experimental. La variable respuesta fue supervivencia, y se evaluó a los 60, 120 y 180 días.

El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_i + A_j + B_k + C_l + AB_{jk} + AC_{jl} + ABC_{jkl} + \epsilon_{ijklm}$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  = Valor de la variable respuesta de la  $m$ -ésima repetición del  $i$ -ésimo bloque,  $j$ -ésimo nivel de  $A$ ,  $k$ -ésimo nivel de  $B$  y  $l$ -ésimo nivel de  $C$

$\mu$  = Media general

$A_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor  $A$  (especie)

$B_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo nivel del factor  $B$  (técnica de injertado)

$C_l$  = Efecto del  $l$ -ésimo nivel del factor  $C$  (método de cicatrización)

$AB_{jk}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel de  $A$  y  $k$ -ésimo nivel de  $B$

$AC_{jl}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel de  $A$  y  $l$ -ésimo nivel de  $C$

$ABC_{jkl}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel de  $A$ ,  $k$ -ésimo nivel de  $B$  y  $l$ -ésimo nivel de  $C$

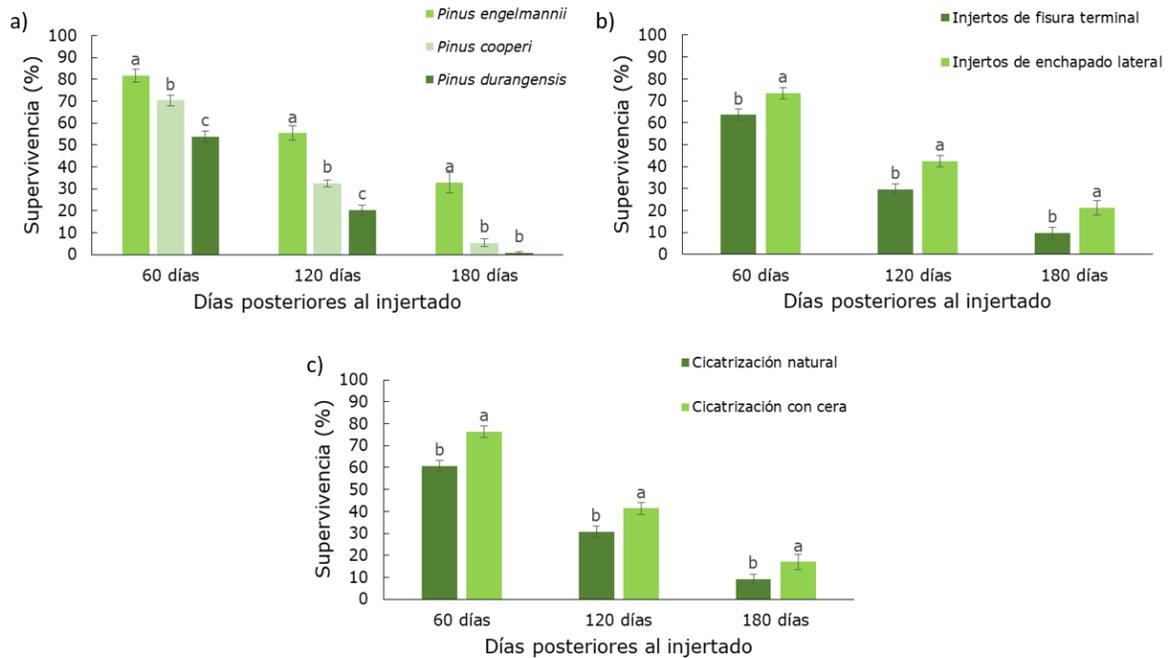
$\epsilon_{ijklm}$  = Error experimental

## Análisis estadístico

La normalidad de los datos se probó mediante las pruebas de *Shapiro-Wilk* y *Kolmogorov-Smirnov*. Para evaluar el efecto de los tratamientos individuales (especie, técnica de injertado y método de cicatrización) sobre la supervivencia de los injertos, se aplicó la prueba de medianas de *Kruskal Wallis*, además de una prueba de *Dunn*. Adicionalmente, se hizo la prueba de medianas de *Dunnnett* para determinar el efecto de las dobles interacciones entre tratamientos y la triple interacción de los mismos. El valor de significancia estadística usado en todos los análisis fue  $p < 0.05$ . Los análisis se llevaron a cabo con el *software* estadístico R® versión 3.5.3 (R Core Team, 2020).

## Resultados y Discusión

Se obtuvieron diferencias significativas en la supervivencia de injertos entre las especies de estudio a los 60 días ( $p=0.003$ ), 120 días ( $p=0.0002$ ) y 180 días ( $p=2.7 \times 10^{-13}$ ). Los injertos de *P. engelmannii* representaron el primer grupo estadístico con 81.6, 55.4 y 32.9 % a los 60, 120 y 180 días posteriores al injertado, respectivamente. A los 180 días, *P. cooperi* y *P. durangensis* tuvieron 5.4 y 0.8 % de supervivencia, respectivamente (Figura 3a).



Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos según la prueba de *Dunn*. Las barras representan el error estándar.

**Figura 3.** Supervivencia de injertos de *Pinus engelmannii*, *P. durangensis* y *P. cooperi*: a) por efecto de la técnica de injertado, b) por efecto de la especie, y c) por efecto del método de cicatrización.

Se observaron diferencias estadísticas significativas en la supervivencia de injertos por efecto de la técnica a los 60 días ( $p=0.043$ ), 120 días ( $p=0.04$ ) y 180 días ( $p=0.036$ ). Para ambas técnicas, existió un aumento drástico en la mortalidad entre los 60 y 120 días posteriores al injertado, pues la supervivencia tanto con la técnica de fisura terminal, como en la de enchapado lateral, disminuyó de 63.3 a 29.7 % y de 73.6 a 42.5 %, respectivamente. A los 180 días, la supervivencia mayor se obtuvo con la técnica de enchapado lateral con 21.3 %, mientras que con la de fisura terminal fue de 9.7 % (Figura 3b).

También se registraron diferencias estadísticas significativas por efecto del método de cicatrización a los 60 días ( $p=0.011$ ), 120 días ( $p=0.03$ ) y 180 días ( $p=0.013$ );

pese a que en ambos métodos de cicatrización existió alta mortalidad entre evaluaciones, la aplicación de cera cicatrizante favoreció la supervivencia de los injertos (76.3, 41.3 y 16.9 % a los 60, 120 y 180 días, respectivamente), en comparación con la cicatrización natural (sin cera) que obtuvo 60.8, 30.8 y 9.1 % en los mismo tiempos (Figura 3c).

Varios estudios indican que la mejor técnica de injertado para propagar especies del género *Pinus* es la de fisura terminal. Bajo esta técnica, Almqvist (2013) señaló 84.7 % de supervivencia en *P. sylvestris* L. y Pérez-Luna *et al.* (2021) 80 % en *P. engelmannii*. Asimismo, Castro-Garibay *et al.* (2022) citaron 89 % de supervivencia en *P. greggii* var. *australis* Donahue, Jeffrey K. & López A., R. Mientras que, con la técnica de enchapado lateral, en *P. rzedowskii* la supervivencia fue superior a 80 % (Solorio-Barragán *et al.*, 2021) y de 73 % en *P. patula* (González-Jiménez *et al.*, 2022). Por el contrario, Aparicio-Rentería *et al.* (2013) y Barrera-Ramírez *et al.* (2021) obtuvieron 29 y 30 % de supervivencia en *P. patula* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*, respectivamente.

En este estudio, la supervivencia con ambas técnicas fue baja, inferior a 10 % a los 180 días en injertos de fisura terminal y 21.3 % con enchapado lateral. Lo anterior podría atribuirse a factores ajenos al objeto de evaluación en la investigación; uno de ellos, es la edad de la planta patrón. Autores como Castro-Garibay *et al.* (2022) y González-Jiménez *et al.* (2022) recomiendan el uso de patrones no mayores a un año de edad. Sin embargo, en algunas especies es complicado usar portainjertos de esa edad, debido a que no alcanzan el mismo crecimiento en diámetro que la yema por injertar, ya que son especies de lento crecimiento, particularmente *P. engelmannii*, que presenta un estado cespitoso (Pérez-Luna *et al.*, 2019), lo que generó la necesidad de usar patrones de tres años de edad. Por otra parte, Pérez-Luna *et al.* (2020b) sugieren mantener los injertos bajo temperaturas no mayores a 30 °C, temperatura que fue superada en el presente estudio (Figura 1a).

La gran diferencia de supervivencia en *P. engelmannii* con respecto a *P. cooperi* y *P. durangensis*, es un indicativo de la mayor aptitud de *P. engelmannii* para ser propagada por injerto. En ese sentido, Hibbert-Frey *et al.* (2011) señalan que no todas las especies de coníferas pueden clonarse exitosamente por medio de injertos. También se documenta que existen especies susceptibles de propagarse mejor mediante enraizamiento de estacas, como *P. leiophylla* Schiede ex Schldl. & Cham. (Cuevas, 2014) y *Abies fraseri* (Pursh) Poir. (Rosier *et al.*, 2005).

Por otro lado, el efecto de agentes cicatrizantes ha sido poco estudiado en especies de coníferas. White *et al.* (1983) y McKeand *et al.* (1987) en *Pinus taeda* L. obtuvieron 83 y 85 % de supervivencia al aplicar parafina y cera a base de resina en la unión del injerto, respectivamente. Blada y Panea (2011) en *Picea pungens* var. *glauca* Regel registraron 41 y 87 % de supervivencia en injertos con parafina y con cera ecológica, respectivamente.

En cuanto al efecto de las interacciones, se observaron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) en la interacción del factor especie  $\times$  técnica de injertado en las tres evaluaciones con diferentes niveles de éxito, con resultados más favorables en *P. engelmannii* en ambas técnicas de injertado y supervivencia final de 40 y 25 % en los injertos de enchapado lateral y fisura terminal, respectivamente. El segundo grupo incluyó las cuatro interacciones correspondientes a la técnica (fisura terminal y enchapado lateral) y las especies *P. cooperi* y *P. durangensis* (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Supervivencia de injertos por efecto de las dobles interacciones entre los diferentes niveles de los tratamientos evaluados.

		<b>Doble interacción técnica de injertado <math>\times</math> especie</b>		
		Supervivencia (%) media $\pm$ EE		
<b>Especie</b>	<b>TI</b>	Días posteriores al injertado		
		60 ( $p=0.002$ )	120 ( $p=0.002$ )	180 ( $p=0.004$ )
Pe	FT	75.0 $\pm$ 4.6 a	45.0 $\pm$ 4.0 b	25.8 $\pm$ 5.9 a
Pc		67.5 $\pm$ 3.3 b	32.5 $\pm$ 2.5 c	3.3 $\pm$ 1.9 b

Pd		48.3±3.3 c	11.6±2.7 d	0.0±0.0 b
Pe	EL	88.3±3.4 a	65.8±4.0 a	40.0±6.8 a
Pc		73.3±3.7 a	32.5±2.2 c	7.5±2.8 b
Pd		59.1±4.1 b	29.1±2.3 c	1.6±1.1 b

**Doble interacción especie × método de cicatrización**

Especie	MC	Supervivencia (%) media ± EE		
		Días posteriores al injertado		
		60 ( $p=0.008$ )	120 ( $p=0.003$ )	180 ( $p=0.0003$ )
Pe	CN	72.5±4.5 b	47.5±4.7 b	22.5±5.3 b
	CC	90.8±2.8 a	63.3±3.9 a	43.3±6.9 a
Pc	CN	64.1±2.5 c	28.3±2.4 d	4.1±2.3 c
	CC	76.6±3.8 b	36.6±1.9 c	6.6±2.5 bc
Pd	CN	45.8±3.6 d	16.6±2.9 d	0.8±0.8 c
	CC	61.6±3.4 c	24.1±3.3 d	0.8±0.8 c

**Doble interacción técnica de injertado × método de cicatrización**

TI	MC	Supervivencia (%) media ± EE		
		Días posteriores al injertado		
		60 ( $p=0.04$ )	120 ( $p=0.04$ )	180 ( $p=0.68$ )
FT	CN	53.8±3.1 b	23.3±2.8 b	5.0±2.2 a
	CC	73.3±3.3 a	36.1±3.9 ab	14.4±4.4 a
EL	CN	67.7±3.5 ab	38.3±3.9 a	13.3±3.8 a
	CC	79.4±3.6 a	46.6±3.7 a	19.4±5.3 a

TI = Técnica de injertado; MC = Método de cicatrización; EE = Error estándar; FT = Fisura terminal; EL = Enchapado lateral; Pe = *Pinus engelmannii* Carrière; Pc = *Pinus cooperi* C. E. Blanco; Pd = *Pinus durangensis* Martínez; CN = Cicatrización natural; CC = Cicatrización con cera. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre interacciones de acuerdo a la prueba de comparación de medianas de *Dunnett*.

En la interacción especie × método de cicatrización se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ( $p<0.05$ ) en las tres evaluaciones; las interacciones se

dividieron en cuatro grupos estadísticos. El grupo mayor correspondió a los injertos de *P. engelmannii* con cera cicatrizante, con 43.3 % de supervivencia final. Solo se detectaron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) a los 60 y 120 días en la interacción técnica de injertado  $\times$  método de cicatrización, con los mejores resultados a los 60 días cuando se aplicó cera cicatrizante y a los 120 días en la técnica de enchapado lateral, sin importar el tipo de protección (Cuadro 2).

Chávez (2016) evaluó el injertado de fisura terminal de *P. engelmannii*, *P. cooperi* y *P. durangensis* y citó una supervivencia de 20, 34 y 0 %, respectivamente, a los tres meses de realizado el injertado; el resultado obtenido en este trabajo confirma lo difícil que es propagar las especies evaluadas, al menos bajo la metodología empleada.

La triple interacción presentó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ) en todas las evaluaciones. La interacción más favorable en las tres evaluaciones ocurrió en *P. engelmannii* a los 60 días con el uso de cera cicatrizante con ambas técnicas de injertado, a los 120 días solo prevaleció el dominio de la especie y a los 180 días sobresalió el injerto de enchapado lateral con aplicación de cera cicatrizante. Los resultados con menor supervivencia correspondieron a *P. cooperi* y *P. durangensis*, sin importar el factor, lo que indica que no todas las especies responden de la misma manera al injertado (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Supervivencia de injertos por efecto de la triple interacción entre los diferentes niveles de los tratamientos evaluados.

Especie	TI	MC	Supervivencia (%) media $\pm$ EE		
			Días posteriores al injertado		
			60 ( $p=0.010$ )	120 ( $p=0.006$ )	180 ( $p=0.004$ )
Pe	FT	CN	63.3 $\pm$ 6.4 c	31.6 $\pm$ 2.9 b	15.0 $\pm$ 5.8 bcd
		CC	86.6 $\pm$ 4.1 a	58.3 $\pm$ 4.4 a	36.6 $\pm$ 9.5 ab
Pc		CN	58.3 $\pm$ 2.7 c	30.0 $\pm$ 4.1 b	0.0 $\pm$ 0.0 d
		CC	76.6 $\pm$ 4.4 b	35.0 $\pm$ 2.9 b	6.6 $\pm$ 3.6 cd
Pd		CN	40.0 $\pm$ 3.6 d	8.3 $\pm$ 3.7 d	0.0 $\pm$ 0.0 d

		CC	56.6±4.4 c	15.0±3.8 d	0.0±0.0 d
Pe	EL	CN	81.6±5.3 ab	63.3±5.4 a	30.0±8.5 abc
		CC	95.0±3.5 a	68.3±6.3 a	50.0±10.2 a
Pc		CN	70.0±3.3 b	26.6±2.7 c	8.3±4.4 cd
		CC	76.6±6.6 b	38.3±2.5 b	6.6±3.6 cd
Pd		CN	51.6±5.8 c	25.0±2.7 c	1.6±1.6 d
		CC	66.6±4.9 c	33.3±3.5 b	1.6±1.6 d

TI = Técnica de injertado; MC = Método de cicatrización; EE = Error estándar; FT = Fisura terminal; EL = Enchapado lateral; Pe = *Pinus engelmannii* Carrière; Pc = *Pinus cooperi* C. E. Blanco; Pd = *Pinus durangensis* Martínez; CN = Cicatrización natural; CC = Cicatrización con cera. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre interacciones de acuerdo a la prueba de comparación de medianas de *Dunnett*.

El efecto de las ceras cicatrizantes sobre la supervivencia de injertos varía en función de la especie estudiada (Ungureanu *et al.*, 2013). Por ejemplo, Blada y Panea (2011; 2012) estudiaron el efecto de la aplicación de cera a base de biorreguladores en la zona de injertado en *Picea pungens* var. *glauca* y *Abies concolor* (Gordon & Glend.) Lindl. ex Hildebr.; sus resultados indicaron una supervivencia de 87 y 96 %, respectivamente, a los cinco meses de edad de los injertos, los cuales se mantuvieron bajo condiciones de invernadero con temperatura promedio de 25 °C.

En las tres especies evaluadas, la supervivencia más alta se obtuvo en injertos de enchapado lateral, lo que puede ser un indicativo de una mayor habilidad del injertador para desarrollar esta técnica. Sin embargo, es posible que las especies de coníferas estudiadas tengan más afinidad para ser propagadas por otros métodos de propagación.

## **Conclusiones**

La especie con mejor respuesta al injertado es *P. engelmannii*; la técnica de enchapado lateral y el uso de cera cicatrizante aumentó la supervivencia de los injertos. En el caso de *P. cooperi* y *P. durangensis*, se recomienda la evaluación de otros factores que favorezcan la supervivencia de injertos, o en su defecto, explorar otros métodos de propagación vegetativa.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada al primer autor para sus estudios de maestría. Al Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por facilitar las instalaciones para realizar el presente trabajo.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## **Contribución por autor**

Alberto Pérez-Luna: ejecución y supervisión de la investigación, captura de datos, análisis estadístico e interpretación de resultados y redacción del manuscrito; Jesús

Alejandro Soto-Cervantes: análisis estadístico e interpretación de resultados y revisión del manuscrito; Rosa Elvira Madrid-Aispuro: análisis estadístico e interpretación de resultados y revisión del manuscrito; José Ángel Sigala-Rodríguez: diseño metodológico y revisión del manuscrito; Santiago Solís-González: selección de árboles superiores, recolección de púas y revisión del manuscrito; José Ángel Prieto-Ruíz: diseño metodológico, ejecución y supervisión de la investigación, verificación de resultados y revisión del manuscrito.

## Referencias

Almqvist, C. 2013. Survival and strobili production in topgrafted scions from young *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(6):533-539. Doi: 10.1080/02827581.2013.803598.

Aparicio-Rentería, A., H. Viveros-Viveros y V. Rebolledo-Camacho. 2013. Huertos semilleros clonales: una alternativa para los programas de reforestación en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4(20):90-97. Doi: 10.29298/rmcf.v4i20.373.

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.

Blada, I. and T. Panea. 2011. Improvement of grafting procedures for the ornamental species: I. *Picea pungens* Engelm. var. *glauca* Regel. *Annals of Forest Research* 54(2):185-196. <https://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/viewFile/89/135>. (21 de octubre de 2022).

Blada, I. and T. Panea. 2012. Improvement of grafting procedures for the ornamental species: II. *Abies concolor* [(Gord. & Glend.) Lindl]. Annals of Forest Research 55(1):25-31. <https://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/viewFile/72/107>. (21 de octubre de 2022).

Castro-Garibay, S. L., Á. Villegas-Monter, J. López-Upton, M. Sandoval-Villa and L. Arévalo-Galarza. 2022. Effective protocol to increase the percentage of grafting success of *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* Donahue et López. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales 28(2):225-240. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2021.03.014.

Chávez I., C. 2016. Injertado de corona en tres especies del género *Pinus* en la región de el Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo., México. 68 p.

Cuevas C., J. C. 2014. Propagación Vegetativa de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. Méx., México. 72 p.

García A., A. y M. S. González E. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., México. 179 p.

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 Schltdl. et Cham. Agrociencia 56(5):1-12. Doi: 10.47163/agrociencia.v56i5.2582.

Hibbert-Frey, H., J. Frampton, F. A. Blazich, D. Hundley and 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.

Martínez S., M. y J. Á. Prieto R. 2011. Determinación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones comerciales forestales en la región norte de México. Folleto Técnico Núm. 47. INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. 35 p.

McKeand, S. E., J. B. Jett, J. R. Sprague and M. N. Todhunter. 1987. Summer wax grafting of loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 11(2):96-99. Doi: 10.1093/sjaf/11.2.96.

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.

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):112-229. Doi: 10.3390/f10020112.

Pérez-Luna, A., C. Whenkel, J. Á. Prieto-Ruíz, J. López-Upton, ... and J. C. Hernández-Díaz. 2020a. Grafting in conifers: A review. *Pakistan Journal of Botany* 52(4):1369-1378. Doi: 10.30848/PJB2020-4(10).

Pérez-Luna, A., C. Wehenkel, J. Á. Prieto-Ruíz, J. López-Upton and J. C. Hernández-Díaz. 2020b. Survival of side grafts with scions from pure species *Pinus engelmannii* Carr. and the *P. engelmannii* × *P. arizonica* Engelm. var. *arizonica* hybrid. *PeerJ* 8: e8468. Doi: 10.7717/peerj.8468.

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.

R Core Team. 2020. The R Project for Statistical Computing (versión 3.5.3). Vienna, Austria. The R foundation for statistical computing. <https://www.R-project.org/>. (21 de octubre de 2022).

Rosier, C. L., J. Frampton, B. Goldfarb, F. C. Wise and F. A. Blazich. 2005. Stumping height, crown position, and age of parent tree influence rooting of stem cuttings of Fraser fir. *HortScience* 40(3):771-777. Doi: 10.21273/HORTSCI.40.3.771.

Solorio-Barragán, E. R., P. Delgado-Valerio, A. Molina-Sánchez, V. Rebolledo-Camacho and M. Á. Tafolla-Martínez. 2021. Interspecific grafting as an alternative for asexual propagation of *Pinus rzedowskii* Madrigal & Caball. Del. in danger extinction. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 27(2):277-288. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.06.046.

Stewart, J. F., R. Will, B. S. Crane and D. Nelson. 2017. Occurrence of shortleaf x loblolly pine hybrids in shortleaf pine orchards: implications for ecosystem restoration. *Forest Science* 63(2):225-231. Doi: 10.5849/forsci.15-167.

Ungureanu, S., T. Panea and V. Ungureanu. 2013. Mijloace noi pentru creştere randamentului şi îmbunătăţirea calităţii materialului săditor de măr prin altoirea la masă. *Horticultură, Viticultură şi vinificaţie, Silvicultură şi grădini publice, Protecţia plantelor* 36(1):30-33. [https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag\\_file/30-33\\_10.pdf](https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/30-33_10.pdf). (21 de octubre de 2022).

White, G., W. J. Lowe and J. Wright. 1983. Paraffin grafting techniques for loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 7(3):116-118. Doi: 10.1093/sjaf/7.3.116.

Yuan, H., S. Niu, X. Zhou, Q. Du, Y. Li and W. Li. 2016. Evaluation of seed production in a first-generation seed orchard of Chinese pine (*Pinus tabuliformis*). *Journal of Forestry Research* 27(5):1003-1008. Doi: 10.1007/s11676-016-0238-x.

Zobel, B. and J. Talbert. 1984. *Applied forest tree improvement*. John Wiley. New York, NY, United States. 505 p.



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.