



DOI: 10.29298/rmcf.v15i82.1451

Artículo de investigación

## Clonación de *Pinus patula* Schiede ex Schldl. & Cham. por injerto: efecto de la fenología y tipo de púa

## Cloning of *Pinus patula* Schiede ex Schldl. & Cham. by grafting: effect of phenology and type of scion

Alberto Pérez Luna<sup>1</sup>, Javier López Upton<sup>1\*</sup>, José Ángel Prieto Ruíz<sup>2</sup>, Rubén Barrera Ramírez<sup>3</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 31 de octubre de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 26 de enero de 2024.

<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>Campo Experimental Uruapan, INIFAP. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: jlopezupton@gmail.com

\*Corresponding author; e-mail: jlopezupton@gmail.com

### Resumen

Los injertos permiten clonar genotipos selectos, pero es común la falta de prendimiento en coníferas por causas intrínsecas y extrínsecas del proceso de injertado. El objetivo del presente estudio fue evaluar el prendimiento y la supervivencia de injertos de enchapado lateral de *Pinus patula* con púas en tres estadios fenológicos (latencia, inicio del crecimiento y pleno crecimiento), dos tipos de púas (yemas terminales y púas basales) y su interacción, además de determinar el tiempo promedio de prendimiento por efecto de los tratamientos. Se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3×2 con 16 repeticiones. La evaluación fue quincenal hasta los 90 días después del injertado. Se realizaron análisis de varianza para detectar diferencias entre tratamientos y se ajustaron los modelos de tiempo de fallo acelerado y razón de riesgo de *Weibull* para estimar el tiempo promedio de prendimiento y la probabilidad de muerte de los injertos, respectivamente. No se registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos. En todas las combinaciones hubo prendimiento (de 79.2 a 100 %) y la supervivencia varió entre 58 y 83 %. Se obtuvo 100 % de prendimiento con yemas terminales en latencia y púas basales en pleno crecimiento, mientras que la mayor supervivencia (83 %) se presentó con púas basales al inicio del crecimiento y yemas terminales en pleno crecimiento. El menor tiempo promedio de prendimiento se logró con púas basales (15 días). *Pinus patula* se puede clonar exitosamente en cualquier estadio fenológico y con el uso de ambos tipos de púas evaluadas.

**Palabras clave:** Estadios fenológicos, injerto de enchapado lateral, prendimiento, propagación asexual, púas basales, púas con yemas terminales.

### Abstract

Grafts allow the cloning of select genotypes, but the lack of sprouting in conifers is common due to intrinsic and extrinsic causes of the grafting process. The objective was to evaluate the sprouting and survival of side veneer grafts of *Pinus patula* with scions in three phenological stages (dormancy, beginning of growth and full growth), two types of scions (terminal buds and basal scions) and their interaction, in addition to determining the

average sprouting time due to the effect of the treatments. A completely randomized experimental design was used with a 3×2 factorial arrangement with 16 replications. The evaluation was biweekly until 90 days after grafting. Analysis of variance was performed to detect differences between treatments and the accelerated failure time and Weibull hazard ratio models were adjusted to estimate the average graft sprouting time and probability of death, respectively. No significant differences were found ( $p < 0.05$ ) between treatments. In all combinations there was sprouting (79.2 to 100 %) and survival varied between 58 and 83 %. 100 % of sprouting was obtained with terminal buds in dormancy and basal scions in full growth, while the highest survival (83 %) was accomplished with basal scions at the beginning of growth and terminal buds in full growth. The shortest average sprouting time was achieved when grafting basal scions (15 days). *Pinus patula* can be successfully cloned at any phenological stage and with the use of both types of scions evaluated.

**Key words:** Phenological stages, side veneer graft, sprouting, asexual propagation, basal scions, scions with terminal buds.

## Introducción

La propagación asexual permite clonar genotipos superiores (Darikova *et al.*, 2011); se divide en macropropagación (injertos, enraizamiento de estacas y acodos aéreos o subterráneos) y micropropagación (cultivo de tejidos *in vitro*) (Hartmann *et al.*, 2010). El injerto consiste en unir una yema, brote o rama (púa o vareta) de un árbol adulto sobre el tallo o raíz (portainjerto o patrón) de una plántula o brinzal (no mayor a dos años de edad, preferentemente), que evolucionan fisiológica y anatómicamente para formar una nueva planta (González-Jiménez *et al.*, 2022). Su uso es extensivo en frutales y hortalizas (Pérez-Luna *et al.*, 2019).

En coníferas, esta alternativa de propagación ha crecido en los últimos 50 años para establecer huertos semilleros asexuales, en los cuales se pretende obtener semilla mejorada genéticamente en cantidad abundante al cruzarse árboles superiores (Yuan *et al.*, 2016; Stewart *et al.*, 2017). Sin embargo, aún se desconoce a detalle el efecto de algunos factores que influyen en el prendimiento y supervivencia de injertos, particularmente en especies mexicanas de pino (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021).

En la mayoría de los experimentos realizados en pinos se ha registrado supervivencia menor a 50 % (Muñoz *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2019; Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). Por ello, la evaluación de algunas variaciones en las técnicas de injertado favorecerá la reducción de las tasas de mortalidad. En México, *Pinus*

*patula* Schltl. & Cham. (González-Jiménez *et al.*, 2022), *P. pseudostrobus* Lindl. (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021) y *P. engelmannii* Carrière (Pérez-Luna *et al.*, 2021) son las especies de pinos en las que más se han practicado los injertos, y sus porcentajes de supervivencia varían de 25 a 90 %.

Las principales técnicas empleadas para injertar coníferas son las de fisura terminal y enchapado lateral, aunque esta última se ha usado en menor proporción (Muñoz *et al.*, 2013). El vigor y calidad de las púas influye en el éxito de un injerto, por lo cual suelen emplearse varetas con yemas terminales del último ciclo de crecimiento (Pérez-Luna *et al.*, 2021). No obstante, es complicado tener material para realizar gran cantidad de injertos por árbol, cuando son escasas las yemas terminales que provienen de un orteto (árbol donante) o en donantes de edad juvenil. Por ello, en *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue, Jeffrey K. & López A., R. se probó el uso de yemas terminales y de púas o varetas basales (sección de la base de un brote del último ciclo de crecimiento) con una supervivencia superior a 90 % en ambos casos (Castro-Garibay *et al.*, 2022). Por otra parte, los modelos de supervivencia se han empleado poco para evaluar el éxito del injertado (Pérez-Luna *et al.*, 2019). Un modelo útil es el de tiempo de fallo acelerado de *Weibull*, ya que su aplicación predice el tiempo promedio en el que ocurre un evento (Pérez-Luna *et al.*, 2021).

*Pinus patula* es la especie de mayor importancia económica y ecológica en el centro-sur de México por su calidad de madera y rápido crecimiento libre de nudos (Leibing *et al.*, 2013). Eso la ha convertido en una de las coníferas más empleadas en los programas de mejoramiento genético de varios países del hemisferio sur y de México (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2017).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la condición fenológica de las yemas injertadas (latencia, inicio del crecimiento y pleno crecimiento) y el uso de dos tipos de púas (yemas terminales y basales) en el prendimiento, la supervivencia y riesgo de muerte de injertos de enchapado lateral de *Pinus patula*. La hipótesis fue

que la fenología, el tipo de púa utilizado o la interacción entre ambas tienen un efecto significativo sobre el prendimiento, la supervivencia y riesgo de muerte de los injertos.

## **Materiales y Métodos**

### **Producción de patrones**

Los patrones se obtuvieron de semilla recolectada de 20 árboles seleccionados por su porte superior en altura (26 a 34 m) y diámetro (35 a 40 cm), ubicados en rodales del ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, municipio Chignahuapan, Puebla (19°57'21" N y 98°06'40" O, 2 650 m). La planta se produjo en el vivero del Programa del Pos grado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados, Texcoco, México (19°27'37" N y 98°54'23" O, 2 240 m). La siembra se hizo en contenedores individuales plastificados con capacidad de 310 cm<sup>3</sup>, con un sustrato compuesto por turba de musgo, perlita y vermiculita (2:1:1). Al año de la siembra se realizó el trasplante a bolsas de plástico negro de 19×22 cm (diámetro × altura) y capacidad de 6 L, con sustrato a base de mezcla de corteza de pino compostada, turba, perlita y aserrín de pino (4:2:2:2).

### **Recolección y manejo de púas**

El 29 de abril de 2023 se recolectaron brotes del último ciclo de crecimiento de 12 árboles superiores, con base en su crecimiento y conformación, ubicados en

Chignahuapan e Ixtacamaxtitlán, Puebla. Los árboles seleccionados tenían altura (18 a 26 m) y diámetro (19 a 25 cm) dominante, fuste recto, inserción de ramas en ángulo cercano a 90° y buena poda natural. En cada procedencia se seleccionaron seis árboles: dos con yemas en latencia, dos en el inicio del crecimiento de las yemas y dos con yemas en pleno crecimiento. Los estadios fenológicos se definieron con base en las características de crecimiento de las yemas; las púas en latencia fueron aquellas en las que no se observó elongación de las yemas (Figura 1A), mientras que las púas en crecimiento mostraron elongación inicial (inicio del crecimiento) (Figura 1B) y desarrollo de las mismas (pleno crecimiento) (Figura 1C).



A = Latencia; B = Inicio del crecimiento; C = Pleno crecimiento.

**Figura 1.** Estadio fenológico de las púas.

Para mantener la humedad en las púas e impedir su deshidratación, el transporte se realizó en hielera de plástico con bolsas de hidrogel congelado en su interior; con ello se evitó el contacto directo con las varetas. Las púas se sometieron al siguiente manejo antes de su injertación: (a) eliminación de acículas, (b) desinfección con

agua, jabón líquido y cloro al 2 %, (c) remojo en solución a base de agua y fungicida *Captán*<sup>®</sup> 50PH a razón de 10 g L<sup>-1</sup> por 15 minutos, (d) enjuague con agua destilada, y (e) almacenamiento en una hielera aproximadamente 15 minutos antes del injerto.

## **Establecimiento del ensayo y el procedimiento del injerto**

Los injertos se realizaron el 30 de abril de 2023 en el vivero del Posgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, México. Los patrones tenían una edad de 18 meses y su altura y diámetro al cuello de la raíz promedio era de 70 y 1.5 cm, respectivamente. Se siguió la técnica de enchapado lateral descrita por Pérez-Luna *et al.* (2019). La púa se preparó mediante dos cortes tangenciales paralelos de 5 y 1 cm de longitud cada uno (Figura 2A). En el patrón se realizó un corte tangencial de 4 cm de longitud con una ligera hendidura de 1 cm de profundidad (Figura 2B) para lograr un empate adecuado del injerto, el cual se fijó con hule cristal calibre 4 mm. Se emplearon dos tipos de varetas para injertar: púas con yema terminal (Figura 2C) y púas basales (sección de la base de la ramilla recolectada en campo, generalmente desechada en actividades de injertación) (Figura 2D). El injerto se cubrió con una bolsa de plástico transparente de 0.75 L, con desinfectante a base de sales de amonio cuaternario (10 mL L<sup>-1</sup> de agua) aplicado por atomización para generar un microclima de alta humedad relativa (Figura 2E), el cual se cubrió con una bolsa de papel *Kraft* para proteger al injerto de la radiación solar y evitar la deshidratación (Figura 2F).



A = Corte en la púa; B = Corte en el patrón; C = Injerto de púa con yema terminal; D = Injerto de púa basal; E = Microclima con bolsa plástica humedecida; F = Injertos cubiertos con bolsa de papel *Kraft*.

**Figura 2.** Proceso de injertado.

La bolsa de papel se retiró a los 15 días después del injertado, el microclima se eliminó a los 30 días y a los 60 días se comenzó con la liberación (poda del líder central) del injerto. Los injertos se mantuvieron en condición de malla sombra con 60 % de retención de luz y fueron regados tres veces por semana con agua adicionada con fertilizante hidrosoluble *Peters*<sup>®</sup> triple 20 (N-P-K) a una dosis de 5 g L<sup>-1</sup>. Las temperatura máxima, mínima y media observadas durante el periodo de evaluación fue de 28.4, 2.7 y 16.7 °C, respectivamente. La humedad relativa del sitio donde se mantuvieron los injertos fluctuó entre 48 y 66 %.

## Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos evaluados se basaron en la fenología de las púas del árbol donante (latencia, inicio del crecimiento y pleno crecimiento) y el tipo de vareta injertada (púa con yema y basal), además de su interacción. En total se evaluaron seis tratamientos: tres estadios fenológicos  $\times$  dos tipos de púa. Por cada estadio fenológico se realizaron 32 injertos, la mitad fueron con yemas terminales y la otra mitad con púas basales. El experimento se distribuyó en un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $3 \times 2$  con 16 repeticiones. En total se evaluaron 96 injertos. El prendimiento (elongación y generación de acículas nuevas) y la supervivencia (injerto con tejido turgente) se evaluó cada 15 días hasta los 90 días después del injertado con variables dicotómicas: injerto con prendimiento (1), sin prendimiento (0), e injerto vivo (1) y muerto (0). El modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable respuesta de la  $k$ -ésima repetición del  $i$ -ésimo nivel de  $A$  y del  $j$ -ésimo nivel de  $B$

$\mu$  = Media general

$A_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor  $A$  (estadio fenológico)

$B_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor  $B$  (tipo de púa)

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

$\epsilon_{ijk}$  = Error experimental



## Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) para distribución binomial con el procedimiento lineal generalizado mixto (*GLIMMIX*) de SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013) para detectar diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos sobre el prendimiento y la supervivencia. El modelo de tiempo de fallo acelerado de *Weibull* (Ecuación 2) se ajustó para determinar, si la fenología de los árboles donantes de púas y el tipo de púa ejercían un efecto significativo sobre el tiempo promedio de prendimiento y la mortalidad de los injertos.

$$\ln(T) = \alpha + \beta xi + \sigma \varepsilon \quad (2)$$

Donde:

$\ln(T)$  = Logaritmo natural del tiempo de fallo acelerado (prendimiento y mortalidad)

$\alpha$  = Parámetro de forma del modelo

$\beta xi$  = Estimador atribuido al  $i$ -ésimo tratamiento

$\sigma \varepsilon$  = Parámetro de escala atribuido al error del modelo

La razón de riesgo de *Weibull* (Ecuación 3) y la probabilidad de muerte (Ecuación 4) se calcularon con las ecuaciones descritas por Pérez-Luna *et al.* (2021).

$$RR_w = (\exp^{-\delta})^{\lambda-1} \quad (3)$$

$$\textit{Probabilidad de muerte} = (RR_w - 1)(100) \quad (4)$$

Donde:

$RR_w$  = Razón de riesgo de *Weibull* (aumento o disminución del riesgo de muerte en función de una variable independiente), el cual puede tomar valores entre -1 y 1

$exp$  = Número de *Euler* (2.7182 aproximadamente)

$\delta$  = Coeficiente que indica el efecto de una variable independiente ( $x_i$ )

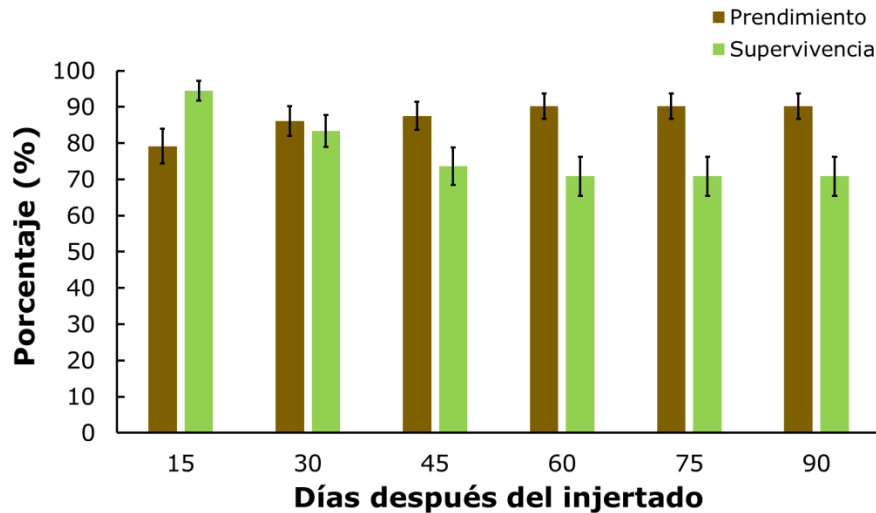
$\lambda$  = Parámetro de forma del modelo de  $RR_w$

Para el ajuste del modelo se trabajó con variables dicotómicas y politómicas: prendimiento (injerto sin prendimiento = 0 y con prendimiento = 1), supervivencia (injerto vivo = 0 y muerto = 1), fenología del árbol donante (latencia = 1, inicio del crecimiento = 2 y pleno crecimiento = 3) y tipo de púa (púa con yema terminal = 1 y púa basal = 2). El modelo de *Weibull* utiliza variables censura (valor igual a 0) para detectar individuos que no experimentaron los efectos que se desean evaluar (en este caso, injerto sin prendimiento e injerto vivo). Los ajustes de los modelos de tiempo de fallo acelerado y razón de riesgo de *Weibull* se realizaron con los procedimientos *LIFETEST* y *PHREG* de SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013).

## **Resultados y Discusión**

### **Prendimiento y supervivencia**

No se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las fechas de evaluación para el prendimiento y la supervivencia promedio de los injertos (Figura 3).



Líneas verticales representan el error estándar.

**Figura 3.** Prendimiento y supervivencia promedio de los injertos por periodo de evaluación (días después del injertado).

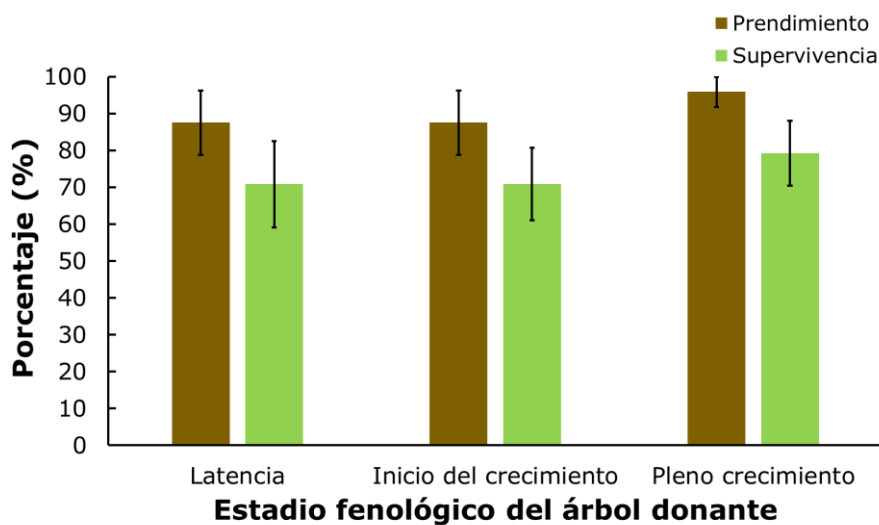
Se observó un alto prendimiento desde los 15 días después del injertado (79.2 %) hasta aumentar a 90.3 % a los 60 días, para después mantenerse estable. Como es de esperarse al realizar injertos, se identificó una disminución de la supervivencia en cada evaluación, la cual varió de 94.4 a 70.8 % desde la evaluación inicial hasta la final. El que existiera mayor prendimiento que supervivencia se explica por el hecho de que no todos los injertos que muestran señales de "compatibilidad" pueden sobrevivir en el transcurso del tiempo, ya sea por la unión deficiente del cambium vascular, la muerte de la planta patrón o de la púa por estrés, ataque de plagas o nutrición deficiente (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). Al respecto, no se detectaron

causas aparentes de mortalidad, por lo que se presume que la muerte de los injertos prendidos pudo deberse a incompatibilidad temprana.

Históricamente, la técnica de fisura terminal ha sido la más empleada para clonar especies de coníferas (particularmente pinos); los resultados han sido exitosos en algunos ensayos, como es el caso de *Pinus sylvestris* L. con una tasa de supervivencia de 85 % (Almqvist, 2013), *P. engelmannii* con 80 % (Pérez-Luna et al., 2021) y *P. greggii* var. *australis* con 89 % (Castro-Garibay et al., 2022). Sin embargo, para *P. rzedowskii* Madrigal & Caball. Del., resulta mejor hacer injertos de enchapado lateral (prendimiento mayor a 80 %) (Solorio-Barragán et al., 2021). Asimismo, otros estudios en *P. patula* indican que el enchapado lateral es una metodología eficiente para la propagación vegetativa de árboles adultos (González-Jiménez et al., 2022; González-Jiménez et al., 2023).

La edad y calidad del portainjerto es un factor que suele influir en el éxito de injertos del género *Pinus* L.; por ello, se recomienda usar patrones no mayores a 15 meses de edad al injertar *P. patula* y otras especies filogenéticamente cercanas (Castro-Garibay et al., 2022). Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación y los consignados por González-Jiménez et al. (2022) indican que *P. patula* puede injertarse con éxito al usar patrones de hasta 18 meses de edad. Esto es útil, ya que facilita el injertar púas de árboles adultos, lo que reduce la incompatibilidad que podría presentar un injerto debido a la diferencia en el crecimiento entre los órganos vegetativos usados; puesto que las púas de árboles adultos suelen crecer más rápido en diámetro que los patrones juveniles (Pérez-Luna et al., 2019).

No se detectaron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en el prendimiento y supervivencia por efecto del estadio fenológico de los árboles donantes a los 90 días posteriores al injertado (Figura 4), ello a pesar de que existió una diferencia de 11.3 % en el prendimiento (98.8 vs. 87.5) y 8.3 % en la supervivencia (79.1 vs. 70.8) entre los valores extremos.



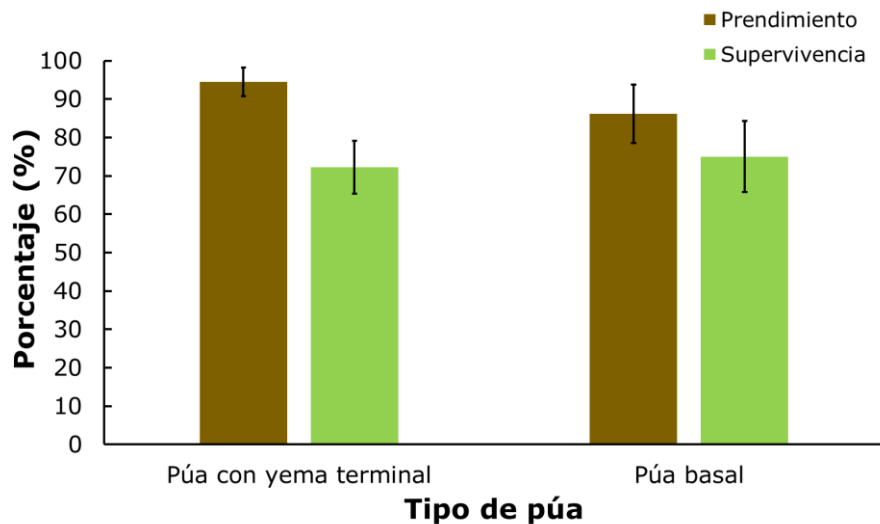
Líneas verticales representan el error estándar.

**Figura 4.** Prendimiento y supervivencia de los injertos por estadio fenológico del árbol donante a 90 días de injertado.

En *P. engelmannii* se registró mayor supervivencia cuando se usaron púas en latencia (26.6 %), con respecto al inicio del crecimiento (18.3 %) (Pérez-Luna *et al.*, 2019). Esto indica que *P. patula* es apto para injertarse en cualquier etapa fenológica, lo que pudiese deberse al rápido crecimiento de la especie y al número de ciclos de crecimiento que presenta anualmente (Leibing *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos son similares a los de González-Jiménez *et al.* (2023) para la misma especie, pues refieren prendimiento y supervivencia de 74.7 y 50 %, respectivamente, en injertos de enchapado lateral con púas en pleno crecimiento. Esto es contrario a lo propuesto por Barrera-Ramírez *et al.* (2021) y Pérez-Luna *et al.* (2021), quienes recomiendan injertar con varetas en latencia en *P. pseudostrobus* y *P. engelmannii*. No obstante, debe considerarse que el comportamiento de los injertos es distinto para cada especie.

El tipo de púa no influyó sobre las variables de respuesta a los 90 días posteriores al injertado ( $p < 0.05$ ); los valores de prendimiento variaron de 94.4 a 86.1 %, mientras que los de supervivencia fluctuaron entre 75 y 72.2 % (Figura 5).

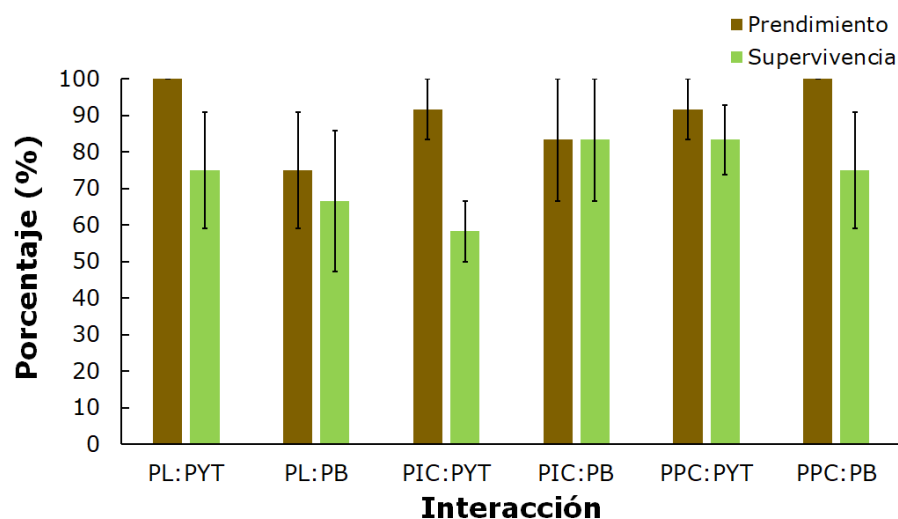


Líneas verticales representan el error estándar.

**Figura 5.** Prendimiento y supervivencia de los injertos por el tipo de púa a 90 días del injertado.

Se esperaría que en injertos con yemas terminales exista más prendimiento dada la mayor función fotosintética y producción de carbohidratos que este tipo de púas presentan (González-Jiménez *et al.*, 2023), situación que se observó a pesar de no ser estadísticamente distinto al uso de varetas basales. No obstante, ese aspecto también podría afectar la supervivencia debido a la mayor cantidad de recursos (agua y nutrientes) que requieren para su correcta funcionalidad, por lo que son vulnerables a factores externos como plagas, enfermedades y estrés hídrico (Marmolejo *et al.*, 2020). Al respecto, el uso de púas basales es eficiente para efectuar injertos de *P. patula* debido a la buena capacidad de rebrote de la especie (Aparicio-Rentería *et al.*, 2014).

Las interacciones no mostraron un efecto significativo ( $p=0.05$ ) en relación al prendimiento y la supervivencia a 90 días del injertado (Figura 6).



PL = Púas en latencia; PIC = Púas en el inicio del crecimiento; PPC = Púas en pleno crecimiento; PYT = Púas de yemas terminales; PB = Púas basales. Líneas verticales representan el error estándar.

**Figura 6.** Prendimiento y supervivencia de los injertos por efecto de la interacción estadio fenológico × tipo de púa a 90 días del injerto.

El mayor prendimiento (100 %) se verificó en los injertos con yemas terminales de árboles donantes en latencia y púas basales de árboles en pleno crecimiento, mientras que el más bajo (75 %) ocurrió en las púas basales de árboles en latencia. Respecto a la supervivencia, el valor más alto (83 %) se alcanzó al injertar púas basales y yemas terminales de árboles en el inicio de su crecimiento y en pleno crecimiento, respectivamente. En contraste, los individuos injertados con yemas terminales de árboles en el inicio de su fenología vegetativa registraron el menor promedio de supervivencia, con 58 %. El porcentaje en los injertos de púas basales de árboles en pleno crecimiento fue similar a los referidos por Castro-Garibay *et al.* (2022), quienes

observaron un prendimiento de 98 % en *Pinus greggii* var. *australis* al injertar segmentos basales de brotes en pleno crecimiento. Por otra parte, altos porcentajes de supervivencia se han obtenido en otras especies, cuando se utilizan púas con yemas terminales de árboles donantes en latencia, tal es el caso de *P. mugo* Turra (Świerczyński *et al.*, 2020) y *P. engelmannii* (Pérez-Luna *et al.*, 2021), ambos con 80 %.

### Tiempo de prendimiento y riesgo de muerte

Se identificó un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) del tipo de púa sobre el tiempo promedio de prendimiento y el riesgo de muerte de los injertos (Cuadro 1). No se confirmó un efecto significativo del estadio fenológico de los árboles donantes sobre las variables evaluadas.

**Cuadro 1.** Parámetros de ajuste del modelo de tiempo de fallo acelerado y razón de riesgo de *Weibull* en el prendimiento de los injertos de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. por efecto del tipo de púa.

<b>Tiempo de fallo acelerado</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Estimador</b>	<b> z </b>	<b>Valor de p</b>	
Forma ( $\alpha$ )	2.6659	9.99	<0.0001	
Coefficiente de la variable "tipo de púa" ( $\beta$ )	0.4373	2.56	0.01	
Escala ( $\sigma$ )	-0.3757	-4.30	<0.0001	
<b>Razón de riesgo de Weibull</b>				
Parámetro	Estimador		Valor de p	
Parámetro de forma ( $\lambda$ )	0.0206		< 0.0001	
Coefficiente de la variable "tipo de púa" ( $\delta$ )	1.4559		0.01	



El tiempo de prendimiento promedio de los injertos con yemas terminales y púas basales fue de 15 y 23 días después del injertado, respectivamente. El valor de la razón de riesgo cuando  $x=1$  (púa con yema terminal) fue 0.53. Esto indica que la probabilidad de muerte  $[(0.53-1) \times 100]$  disminuye en 47 % al usar ese tipo de púa. La razón de riesgo con el uso de púas basales ( $x=2$ ) fue 0.28, con una disminución en la probabilidad de muerte de los injertos de 72 %  $[(0.28-1) \times 100]$ . Castro-Garibay *et al.* (2022) probaron el uso de púas con yemas terminales y púas basales en injertos de fisura terminal de *P. greggii* var. *australis* y obtuvieron resultados satisfactorios, con una supervivencia de 83 y 87 %, respectivamente. Sin embargo, en dicho estudio no se precisó el tiempo promedio de prendimiento.

Pocas investigaciones sobre injertos del género *Pinus* han hecho uso de los modelos de supervivencia para determinar factores que reduzcan o aumenten el riesgo de muerte. En *P. engelmannii* se evaluó el riesgo de mortalidad de los injertos por efecto de la fenología de los árboles donantes (Pérez-Luna *et al.*, 2021), en el cual se determinó una disminución en el riesgo de muerte cuando se usaron púas en latencia. Sin embargo, no existe registro alguno de su uso en *P. patula*. Esto hace de los modelos de supervivencia una herramienta útil y poco aprovechada en investigaciones similares.

## Conclusiones

*Pinus patula* se puede clonar exitosamente por medio de injertos de enchapado lateral con púas con yema terminal y púas basales de árboles donantes en cualquier estadio fenológico de su crecimiento; por lo cual es factible maximizar el material disponible para realizar actividades de injertación. Los injertos

laterales de púas con yema terminal requieren de menor tiempo para manifestar prendimiento; aunque al parecer, las púas basales permiten obtener resultados ligeramente superiores de supervivencia.

### **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la beca otorgada al primer autor (CVU 561686) derivada de la convocatoria "Estancias Posdoctorales por México 2022 (1)".

### **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; Javier López Upton: diseño metodológico, ejecución y supervisión de la investigación, análisis estadístico e interpretación de resultados y revisión del manuscrito; José Ángel Prieto Ruíz y Rubén Barrera Ramírez: análisis estadístico e interpretación de resultados y revisión del manuscrito.

### **Referencias**

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

Aparicio-Rentería, A., S. F. Juárez-Cerrillo y L. R. Sánchez-Velásquez. 2014. Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 20(1):85-96. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-04712014000100008](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712014000100008). (25 de septiembre de 2023).

Barrera-Ramírez, R., J. J. Vargas-Hernández, R. López-Aguillón, H. J. Muñoz-Flores, E. J. Treviño-Garza y O. A. Aguirre-Calderón. 2021. Influencia de factores externos e internos en el prendimiento inicial de injertos de *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.

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 y del Ambiente* 28(2):225-240. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2021.03.014.

Darikova, J. A., Y. V. Savva, E. A. Vaganov, A. M. Grachev and G. V. Kuznetsova. 2011. Grafts of woody plants and the problem of incompatibility between scion and Rootstock (a review). *Journal of Siberian Federal University, Biology* 1(4):54-63. Doi: 10.17516/1997-1389-0185.

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.

González-Jiménez, B., M. Jiménez-Casas, J. López-Upton, M. Á. López-López y R. Rodríguez-Laguna. 2023. Compatibilidad de la púa y el portainjerto en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. como respuesta a la variación genotípica. *Revista*

Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 29(1):147-161. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2022.08.061.

Hartmann, H. T., D. E. Kester and F. T. Davies. 2010. Hartmann and Kester's plant propagation: Principles and practices. Pearson College Div. Edinburgh, EH, Scotland. 915 p.

Leibing, C., J. Signer, M. van Zonneveld, A. Jarvis and W. Dvorak. 2013. Selection of provenances to adapt tropical pine forestry to climate change on the basis of climate analogs. *Forests* 4(1):155-178. Doi: 10.3390/f4010155.

Marmolejo G., D., G. López O., K. J. Marmolejo G. y R. Ingaruca L. 2020. Compatibilidad de multipatrón/yema y resistencia a antracnosis de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agroindustrial Science* 10(1):29-35. Doi: 10.17268/agroind.sci.2020.01.04.

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. INIFAP-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, Dgo., México. 48 p.

Muñoz-Gutiérrez, L., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, C. Ramírez-Herrera, ... y R. Díaz-Ruíz. 2017. Variación espacial y temporal en la dispersión de polen en un huerto semillero y en rodales naturales cercanos de *Pinus patula*. *Bosque* 38(1):169-181. Doi: 10.4067/S0717-92002017000100017.

Pérez-Luna, A., J. Á. Prieto-Ruiz, 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. Doi: 10.3390/f10020112.

Pérez-Luna, A., J. C. Hernández-Díaz, C. Wehenkel, S. L. Simental-Rodríguez, J. Hernández-Velasco and J. Á. Prieto-Ruiz. 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.

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.

Statistical Analysis System Institute (SAS). 2013. SAS computer software version 9.4. The SAS Institute Inc. Cary, NC, United States of America.

Stewart, J. F., R. Will, B. S. Crane and C. 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.

Świerczyński, S., M. Kolasiński, A. Stachowiak and M. Rybus-Zajac. 2020. Influence of rootstocks and the time of grafting procedure on the efficiency of propagation by grafting two cultivars of mountain pine (*Pinus mugo* Turra) and estimation of chloroplast pigments level in the needles. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 19(2):75-85. Doi: 10.24326/asphc.2020.2.8.

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.



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.