

## Ensayos de germinación y producción de planta de procedencias-progenies de *Pinus patula*

Germination tests and plant production of provenances-progenies of *Pinus patula*

Alberto Pérez-Luna <sup>a</sup> , José Ángel Prieto-Ruíz <sup>b\*</sup> , Javier López-Upton <sup>a</sup> , Rosa Elvira Madrid-Aispuro <sup>a</sup> , Silvia Salcido-Ruíz <sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia: <sup>b</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Durango, Durango, México, tel.: 52-618-1361952, [jprieto@ujed.com](mailto:jprieto@ujed.com)

### RESUMEN

La baja calidad de plantas producidas en vivero se ha sumado a las elevadas tasas de mortalidad en las plantaciones establecidas en México. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de tres fechas de siembra y la procedencia del germoplasma en la calidad de planta de *Pinus patula*, además de evaluar la efectividad de cuatro tratamientos pregerminativos: i) testigo, ii) remojo en agua durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas, más remojo de 12 horas antes de la siembra, iii) almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas y remojo de 12 horas antes de la siembra, y iv) remojo de 12 horas antes de la siembra. Se evaluó la altura, el diámetro al cuello de la raíz, el índice de robustez y la eficiencia de germinación de procedencias-progenies de *P. patula* en vivero, además de la germinación diaria y acumulada en laboratorio. Los datos se analizaron con ANOVA, pruebas de Kruskal-Wallis, medias de Tukey y medianas de Dunn. Además, se correlacionaron las variables respuesta con las variables bioclimáticas de las procedencias. Se encontraron diferencias estadísticas en la calidad de planta por procedencia. Las familias de Pinal de Amoles, Querétaro, presentaron el menor índice de robustez (6,61). La semilla tuvo mayor germinación (92,3 %) cuando se remojó durante 12 horas y se almacenó a 3 °C durante cinco semanas, más remojo durante 12 horas antes de la siembra. La calidad de planta y germinación de *P. patula* estuvo influenciada por su procedencia, la fecha de siembra y los tratamientos pregerminativos.

*Palabras clave:* estratificación de semilla, fechas de siembra, tratamientos pregerminativos.

### SUMMARY

The low quality of plants produced in nurseries has added to the high mortality rates in plantations established in Mexico. The objective of this study is to evaluate the effect of three sowing dates and the provenance of the germplasm on the plant quality of *Pinus patula*, in addition to evaluating the effectiveness of four pre-germination treatments: i) control, ii) soaking in water for 12-hour and storage at 3 °C for five weeks, plus 12-hour soaking before sowing, iii) storage at 3 °C for five weeks and 12-hour soaking before sowing, and iv) 12-hour soaking before sowing. The height, diameter at the root neck, robustness index, and germination efficiency of the provenance progenies of *P. patula* in the nursery were evaluated, in addition to daily and accumulated germination in the laboratory. Data were analyzed using ANOVA, Kruskal-Wallis tests, Tukey means, and Dunn's medians. In addition, the response variables were correlated with the bioclimatic variables of the provenances. Statistical differences were found in plant quality according to provenance. Families from Pinal de Amoles, Querétaro presented the lowest robustness index (6,61). The seeds had a higher germination (92,3 %) when soaked for 12 h and stored at 3 °C for five weeks, plus soaking in water for 12 h before sowing. The quality and germination of *P. patula* are influenced by its provenance, sowing date, and pregerminative treatments.

*Keywords:* pregerminative treatments, sowing dates, seed stratification.

### INTRODUCCIÓN

*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. es el pino más cosechado en México de forma comercial. Su madera es de alto valor comercial debido a su fuste recto y por estar relativamente libre de nudos por su eficiente poda natural; esto la hace muy valorada en la industria del aserrío y

de madera estructural (Flores y Moctezuma-López 2021). Se distribuye a través de la Sierra Madre Oriental y el este del Eje Neovolcánico Transversal a través de una estrecha franja de elevada precipitación y ocurrencia de niebla (Leibing *et al.* 2013). Es una especie de rápido crecimiento, con incrementos de 6 a 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, por lo cual se cultiva para plantaciones forestales comerciales con más

de un millón de hectáreas productivas en el mundo, y es base de numerosos programas de mejoramiento genético forestal en México, Colombia, Sudáfrica y otros países del hemisferio sur (Leibing *et al.* 2013).

La producción de planta de calidad determina en gran medida el éxito de una plantación forestal, aspecto relevante en México, debido a que la supervivencia promedio de las reforestaciones en el país es inferior al 50 % al año de plantado (Burney *et al.* 2015). Aunque existen estudios que abordan diversos factores que influyen en la calidad de planta de *Pinus patula* producida en vivero, se carece de suficientes investigaciones sobre el efecto de la fecha de siembra en la calidad de las plántulas, aspecto fundamental en su producción (Rodríguez 2013). Otro factor que influye en la producción de planta forestal es la baja eficiencia de germinación que presentan algunas especies (Bustamante-García *et al.* 2012). Esto provoca que los costos de producción sean más elevados y dificulten el cumplimiento en las metas de obtención de planta destinada a plantaciones forestales (Rodríguez 2013).

La presente investigación se desarrolló con base en dos objetivos principales: i) determinar el efecto de la fecha de siembra, la procedencia del germoplasma y el progenitor en la calidad de planta de *Pinus patula* producida en vivero mediante la valoración de sus características morfológicas (altura, diámetro al cuello de la raíz e índice de robustez) y, ii) evaluar la efectividad de cuatro tratamientos pregerminativos para promover la germinación de semilla de diferentes procedencias-progenies de *P. patula*. Las hipótesis de la investigación son: i) existen diferencias significativas en las características de altura, diámetro e índice de robustez por efecto de la fecha de siembra y la procedencia y, ii) al menos un tratamiento pregerminativo promueve la germinación de la semilla de *P. patula*.

## MÉTODOS

### Ensayo de fechas de siembra

- Características del área de estudio: Se realizaron tres ensayos de fecha de siembra (15 de enero, 15

de febrero y 15 de marzo de 2023) de *Pinus patula* en el vivero de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango (24° 00' 48,38" N y 104° 41' 03,64" O", 1.860 m s.n.m.). La semilla fue recolectada en 2018 de árboles superiores en seis procedencias en su área de distribución natural en México, en los estados de Querétaro (Pinal de Amoles), Veracruz (Huayacocotla), Hidalgo (Acaxochitlán) y Puebla (Ahuazotepec, Zacatlán y Aquixtla) (cuadro 1).

La temperatura máxima, media y mínima del mes más frío y más cálido, la temperatura media anual y la precipitación media anual del registro histórico de las procedencias (enero de 1960 a diciembre de 2022) se obtuvieron con el programa ClimateNA v5.3 (Spittlehouse y Wang 2016) (cuadro 2).

Se usó semilla de cinco árboles por procedencia. Como tratamiento pregerminativo, la semilla se remojó en agua durante 12 horas antes de la siembra; antes de sembrarla, se desinfectó con una solución, en proporción 9:1 de agua e hipoclorito de sodio al 5,4 % durante cinco minutos. Posteriormente, se eliminó el exceso de humedad y se recubrió con fungicida Captán® a razón de 1 g L<sup>-1</sup> para prevenir el ataque de hongos del complejo Damping off.

La siembra se realizó en las tres fechas definidas en charolas de poliestireno expandido de 15 cm de alto y 77 cavidades con capacidad de 170 mL por cavidad. El sustrato empleado fue una mezcla de turba, perlita y aserrín de pino crudo en proporción 4:3:3. Para suministrar macronutrientes durante las etapas de crecimiento de las plantas, se añadieron 10 g L<sup>-1</sup> de fertilizante de lenta liberación (ocho meses) Multicote™ 18-6-12 (N-P-K) más micronutrientes. Después de la germinación, las plántulas se mantuvieron un mes en condiciones de invernadero, cuatro meses bajo malla sombra de 60 % de retención de luz y un mes bajo condiciones de endurecimiento (intemperización). Las condiciones ambientales en el invernadero se presentan en la figura 1.

**Cuadro 1.** Ubicación geográfica del punto central de las procedencias de semilla de *Pinus patula* en México.

Geographic location of the central point of *Pinus patula* seed provenances in México.

Procedencia	Latitud (N)	Longitud (O)	Elevación (m s.n.m.)
Pinal de Amoles (Querétaro)	21° 07' 40,5"	99° 40' 01,3"	2.660
Huayacocotla (Veracruz)	20° 33' 40,1"	98° 30' 31,0"	2.025
Acaxochitlán (Hidalgo)	20° 13' 06,1"	98° 12' 28,9"	2.208
Ahuazotepec (Puebla)	20° 04' 08,8"	98° 06' 15,4"	2.386
Zacatlán (Puebla)	20° 01' 26,5"	98° 02' 53,0"	2.340
Aquixtla (Puebla)	19° 50' 02,0"	98° 02' 54,8"	2.683

- **Tratamientos, variables y diseño experimental:** La evaluación se hizo en agosto de 2023, cuando las plantas tenían la siguiente edad: primera fecha de siembra = siete meses, segunda fecha = seis meses y tercera fecha = cinco meses. Se evaluaron los tratamientos: tres fechas de siembra, seis procedencias y 30 familias (cinco familias por procedencia). Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro al cuello de la raíz e índice de robustez (relación altura/diámetro). La altura se midió con una regla con calibración en centímetros, y el diámetro con vernier digital con aproximación en milímetros.

Los datos de germinación, altura, diámetro e índice de robustez se analizaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para comprobar los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas, respectivamente. Al determinarse los supuestos, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) por fecha de evaluación con el procedimiento MIXED de SAS v9.4 (SAS Institute 2013) para detectar diferencias estadísticas en las

variables respuesta. En los casos donde existieron diferencias estadísticas, se realizaron pruebas de separación de medias de Tukey para obtener grupos estadísticos con el procedimiento GLM de SAS v9.4 (SAS Institute 2013). El diseño experimental usado fue de bloques completos al azar con parcelas divididas donde las familias estuvieron anidadas en procedencias, con tres repeticiones. El análisis se hizo con el promedio de cada parcela de 21 plantas por familia (cuando sobrevivieron el 100 %). Para su evaluación se usó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_i + P_j + BP_{ij} + F_{k(j)} + \epsilon_{ijkl} \quad [1]$$

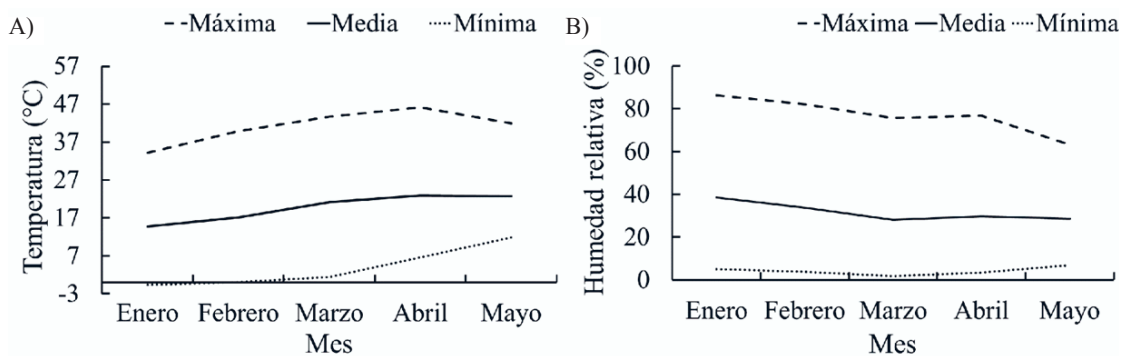
Dónde:  $Y_{ijkl}$  = valor observado de la  $l$ -ésima planta de la  $k$ -ésima familia anidada a la  $j$ -ésima procedencia en el  $i$ -ésimo bloque,  $\mu$  = media poblacional,  $B_i$  = efecto aleatorio del  $i$ -ésimo bloque,  $P_j$  = efecto fijo de la  $j$ -ésima procedencia ( $j = 1, 2, \dots, 6$ ),  $BP_{ij}$  = efecto entre la interacción del  $i$ -ésimo bloque con la  $j$ -ésima procedencia,  $F_{k(j)}$  = efecto aleatorio de la  $k$ -ésima

**Cuadro 2.** Valores promedio de las variables bioclimáticas de las procedencias de semilla de *Pinus patula* en México.

Average values of bioclimatic variables of *Pinus patula* seed provenances in México.

Procedencia	TMAXMF	TMEDMF	TMINMF	TMAXMC	TMEDMC	TMINMC	TMA	PPTMA
Pinal de Amoles	17,3	10,1	2,9	24,6	16,6	8,6	13,6	971
Huayacocotla	17,2	10,6	4,0	24,2	17,0	9,8	13,9	1.349
Acaxochitlán	18,4	11,3	4,1	24,2	16,9	9,5	14,3	1.268
Ahuazotepec	18,7	10,7	3,2	23,8	16,1	8,4	13,8	1.361
Zacatlán	18,4	10,8	3,2	23,7	16,2	8,6	13,8	1.112
Aquixtla	17,8	9,8	1,7	22,6	14,7	6,8	12,5	811

Dónde: TMAXMF = temperatura máxima del mes más frío en °C; TMEDMF = temperatura media del mes más frío en °C; TMINMF = temperatura mínima del mes más frío en °C; TMAXMC = temperatura máxima del mes más cálido en °C; TMEDMC = temperatura media del mes más cálido en °C; TMINMC = temperatura mínima del mes más cálido en °C; TMA = temperatura media anual en °C; PPTMA = precipitación media anual en milímetros.



**Figura 1.** Condiciones temperatura A) y humedad relativa B) en el invernadero.

A) Temperature and B) relative humidity conditions in the greenhouse.

familia anidada en procedencia ( $k = 1, 2, \dots, 30$ )  $\sim$ NID ( $0, \sigma_p^2$ ),  $\varepsilon_{ijkl}$  = error experimental  $\sim$ NID ( $0, \sigma_e^2$ ).

Finalmente, se realizaron correlaciones de Pearson entre las variables respuesta y las variables bioclimáticas de las procedencias del germoplasma con el procedimiento CORR de SAS v9.4 (SAS Institute 2013).

*Ensayo de germinación.* Debido a la baja germinación en las fechas de siembra del 15 de febrero y 15 de marzo de 2023, se decidió realizar en laboratorio pruebas de germinación del lote de semilla utilizado. La siembra se hizo mediante la colocación de la semilla en una capa de papel absorbente cubierta con papel estraza y humedecida con agua adicionada con fungicida Captán® a razón de 1 g L<sup>-1</sup> (figura 2) bajo la metodología descrita por Bustamante-García et al. (2012).

- Tratamientos, variables y diseño experimental: Cada unidad experimental constó de 100 semillas y 12 repeticiones, material que fue puesto en una cámara de clima constante marca Binder® modelo KBF 115, a temperatura constante de 28 °C y con humedad relativa de 20 % durante 28 días.

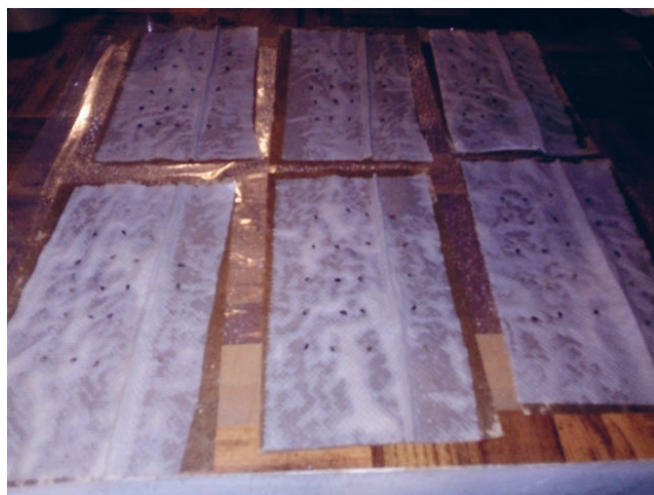
El ensayo de germinación se estableció el 29 de septiembre de 2023 y se evaluó durante 28 días (26 de octubre de 2023), con evaluaciones cada tercer día. Se evaluaron cuatro tratamientos pregerminativos:

- T1 = semilla sin estratificación (testigo).
- T2 = semilla con remojo en agua durante 12 horas antes de la siembra.
- T3 = semilla con remojo en agua durante 12 horas y posteriormente almacenada a 3 °C durante cinco semanas antes de la siembra.

- T4 = semilla con remojo en agua durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas y remojo adicional de 12 horas antes de la siembra.

Adicionalmente a ello, se evaluó el efecto de la procedencia y su interacción con el tratamiento pregerminativo, además de la familia anidada a la procedencia. La semilla evaluada provenía de lotes de cinco procedencias: Pinal de Amoles (Querétaro), Huayacocotla (Veracruz), Acaxochitlán (Hidalgo), Ahuazotepec y Zacatlán (Puebla) (cuadro 1). Las familias de Aquixtla fueron excluidas del ensayo por la insuficiente disponibilidad de semilla. Se evaluó la germinación de cuatro familias de cada procedencia. La selección de las procedencias-progenies se basó en los resultados obtenidos en el ensayo de fechas de siembra. Se seleccionaron las 20 familias con mayor germinación, y se desestimaron las familias con baja o nula viabilidad. Se evaluaron 4.800 semillas, distribuidas de la siguiente manera: 1.200 semillas por tratamiento pregerminativo con 240 semillas por procedencia y 60 semillas por progenie evaluadas bajo cada tratamiento. Con la cantidad de semilla empleada bajo cada condición pregerminativa, se cumplió por lo establecido por la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA por sus siglas en inglés) (ISTA 1986), de que el número mínimo de semillas a evaluar por tratamiento debe ser mayor o igual a 400 y de al menos 100 semillas por repetición (unidad experimental) y su evaluación de al menos por 28 días.

Los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas de los datos de germinación se analizaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Al no cumplirse los supuestos, se realizaron análisis de Kruskal-Wallis y comparación de medianas de Dunn con el procedimiento NPAR1WAY de SAS v9.4 (SAS Institute 2013).



**Figura 2.** Unidades experimentales para la germinación de semilla de *Pinus patula*.

Experimental units for *Pinus patula* seed germination.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con parcelas divididas y se evaluó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + B_i + T_j + BT_{ij} + P_k + TP_{jk} + F_{l(k)} + BF_{il(k)} + TF_{jl(k)} + \varepsilon_{ijklm} \quad [2]$$

Dónde:  $Y_{ijklm}$  = valor observado de la  $m$ -ésima parcela de la  $l$ -ésima familia anidada a la  $k$ -ésima procedencia del  $j$ -ésimo tratamiento pregerminativo en el  $i$ -ésimo bloque,  $\mu$  = media poblacional,  $B_i$  = efecto aleatorio del  $i$ -ésimo bloque,  $T_j$  = efecto del  $j$ -ésimo tratamiento ( $i = 1, 2, \dots, 4$ ),  $BT_{ij}$  = efecto entre la interacción del  $i$ -ésimo bloque con el  $j$ -ésimo tratamiento,  $P_k$  = efecto de la  $k$ -ésima procedencia ( $j = 1, 2, \dots, 5$ ),  $TP_{jk}$  = efecto entre la interacción del  $j$ -ésimo tratamiento con la  $k$ -ésima procedencia,  $F_{l(k)}$  = efecto de la  $l$ -ésima familia anidada en procedencia ( $k = 1, 2, \dots, 20$ )  $\sim$ NID ( $0, \sigma_f^2$ ),  $BF_{il(k)}$  = efecto entre la interacción del  $i$ -ésimo bloque con  $l$ -ésima familia anidada en procedencia,  $TF_{jl(k)}$  = efecto entre la interacción del  $j$ -ésimo tratamiento con  $l$ -ésima familia anidada en procedencia,  $\varepsilon_{ijklm}$  = error experimental  $\sim$ NID ( $0, \sigma_e^2$ ).

## RESULTADOS

### Ensayo de fechas de siembra

- Germinación y características morfológicas de las plantas producidas en diferentes fechas de siembra: El porcentaje de germinación en la primera fecha de siembra fue  $58,6 \pm 10,9$  %. La germinación en la segunda y tercera fecha fue nula. Se observaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en la germinación durante la primera fecha de siembra por efecto de la procedencia, pero no por efecto de las familias (cuadro 3).

La mayor germinación se presentó en cinco de las seis procedencias evaluadas, con valores de  $71,4 \pm 8,8$  % a  $54,3 \pm 14,9$  %, mientras que la menor germinación se obtuvo con las familias de Aquixtla con  $26,6 \pm 8,6$  % (figura 3).

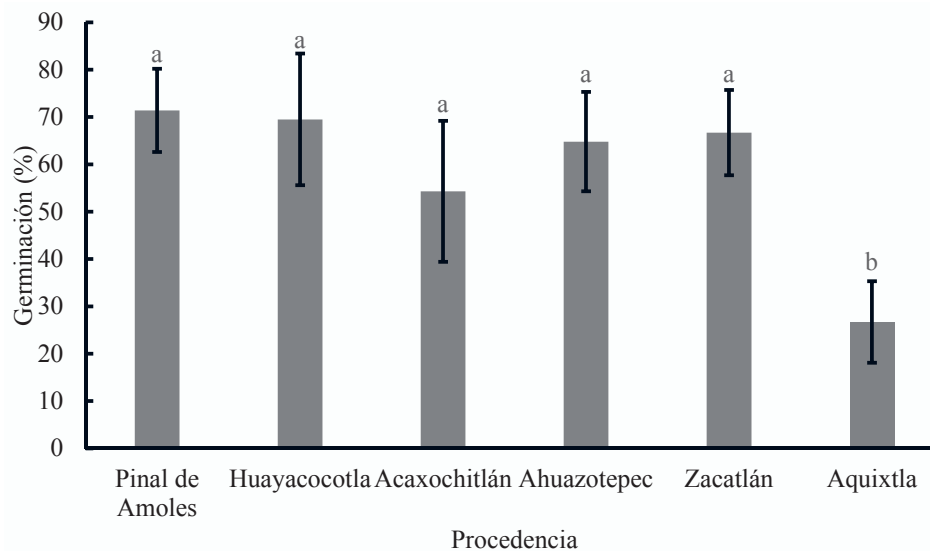
Debido a la poca disponibilidad de plantas de la procedencia con menor germinación (Aquixtla), sus ejemplares se excluyeron de los análisis de las variables mor-

**Cuadro 3.** Resultados del ANOVA en germinación de semilla de *Pinus patula* en la primera fecha de siembra.

ANOVA results on *Pinus patula* seed germination on the first sowing date.

Factor	Grados de Libertad	Cuadrado de la media	Valor de F	$P > F$
Procedencia	4	3.050	5,19	0,0321*
Familia (Procedencia)	19	647	1,10	0,2948 <sup>ns</sup>

Dónde: \* = valor significativo con  $P \leq 0,05$ ; <sup>ns</sup> = no significativo.



**Figura 3.** Germinación de semilla de seis procedencias de *Pinus patula* en la primera fecha de siembra. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre procedencias según la prueba de medias de Tukey. Barras expresan el error estándar.

Seed germination of *Pinus patula* for six provenances on the first sowing date. Different letters indicate statistically significant differences ( $P < 0,05$ ) among provenances according to Tukey's test of means. The bars indicate the standard error.



fológicas. Para la fecha de siembra del 15 de enero de 2023, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) en las tres variables morfológicas por efecto de la procedencia de la semilla y la familia anidada a la procedencia (cuadro 4).

A los siete meses de edad de las plántulas, las familias de Huayacocotla presentaron la altura mayor, en tanto que el diámetro al cuello de la raíz mayor correspondió a las familias de Ahuazotepec. Tres procedencias (Pinal de Amoles, Acaxochitlán y Zacatlán) tuvieron un índice de robustez dentro del rango recomendado por Aldrete *et al.* (2023) para coníferas de México ( $< 7,5$ ) producidas en charolas con altura de 12 a 15 cm (cuadro 5).

Con respecto a la altura por efecto de la familia, tanto el grupo superior como el grupo inferior fueron representados por una familia cada uno. En el grupo “a” se ubicó una familia de Huayacocotla con 29,6 cm, y en contraste, la familia con menor valor provino de Pinal de Amoles con 16,8 cm. La familia con mayor diámetro (3,8 mm) y agrupada en el nivel estadístico superior fue Ahuazotepec, mientras que el grupo estadístico inferior fue representado por dos familias, una de Pinal de Amoles (2,96 mm) y otra de Zacatlán (2,95 mm). Dos familias (ambas de Pinal de Amoles) presentaron los valores más bajos de índice de robustez (5,58 y 5,75), mientras que una familia de Zacatlán y otra de Huayacocotla presen-

**Cuadro 4.** Resultados del ANOVA en el efecto de la procedencia-progenie sobre las variables morfológicas de plantas de *Pinus patula* producidas en la primera fecha de siembra.

ANOVA results of the effect of provenance progeny on the morphological variables of *Pinus patula* plants produced on the first sowing date.

Factor	Altura			
	GL	Cuadrado de la media	Valor de F	$P > F$
Procedencia	4	10,3	10,3	0,0317*
Familia (Procedencia)	24	81,1	81,1	$< 0,0001^{**}$
Factor	Diámetro			
	GL	Cuadrado de la media	Valor de F	$P > F$
Procedencia	4	0,5	3,5	0,0349*
Familia (Procedencia)	24	0,7	4,6	$< 0,0001^{**}$
Factor	Índice de robustez			
	GL	Cuadrado de la media	Valor de F	$P > F$
Procedencia	4	0,6	0,4	0,0442*
Familia (Procedencia)	24	6,9	4,8	$< 0,0001^{**}$

Dónde: GL = Grados de Libertad. \*, \*\* = valor significativo con  $P \leq 0,05$  y con  $P \leq 0,001$ .

**Cuadro 5.** Resultados de la prueba de separación de medias de Tukey de los promedios  $\pm$  error estándar en las variables morfológicas de las plantas de *Pinus patula* por procedencia.

Results of the Tukey mean separation test of the mean  $\pm$  standard error of the morphological variables of *Pinus patula* plants due to provenance.

Procedencia	Variable		
	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Índice de robustez
Pinal de Amoles	20,9 $\pm$ 0,6 c	3,18 $\pm$ 0,06 b	6,61 $\pm$ 0,21
Huayacocotla	26,1 $\pm$ 0,6 a	3,27 $\pm$ 0,05 ab	8,08 $\pm$ 0,24
Acaxochitlán	24,8 $\pm$ 0,6 ab	3,42 $\pm$ 0,06 a	7,33 $\pm$ 0,19
Ahuazotepec	24,9 $\pm$ 0,7 ab	3,19 $\pm$ 0,07 ab	7,86 $\pm$ 0,25
Zacatlán	23,9 $\pm$ 0,5 b	3,33 $\pm$ 0,08 ab	7,28 $\pm$ 0,16
Promedio	24,1 $\pm$ 0,3	3,28 $\pm$ 0,03	7,43 $\pm$ 0,10

Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre procedencias según la prueba de medias de Tukey.

taron los valores más altos de índice de robustez de 9,4 y 8,5, respectivamente.

- Correlación entre la germinación y las variables morfológicas de las plántulas con las variables bioclimáticas de las procedencias: Se encontró correlación positiva o negativa alta y significativa ( $P < 0,05$ ) entre las variables de respuesta de la planta producida en la primera fecha de siembra (excepto el diámetro al cuello de la raíz) y algunas variables bioclimáticas de las procedencias de las semillas. La altura se correlacionó con tres variables de temperatura y una de precipitación, el índice de robustez con una variable de temperatura y una de precipitación, mientras que la germinación se correlacionó con seis variables bioclimáticas (cuadro 6).

*Germinación diaria de semilla de Pinus patula bajo el efecto de cuatro tratamientos pregerminativos.* La germinación comenzó a los seis días después del establecimiento

to del ensayo, pero su mayor porcentaje se presentó a los ocho, 16 y 20 días. Las semillas sometidas a estratos de humedad y frío más el remojo por 12 horas antes de la siembra (tratamiento 4) tuvieron la mejor respuesta de germinación (figura 4A).

Con relación a la germinación diaria por procedencia, la semilla de Pinal de Amoles alcanzó más rápido su máxima germinación con 18,6 % a los 10 días, mientras que Zacatlán fue la última (20,1 % a los 22 días) (figura 4B). La semilla de cada familia comenzó a germinar a los ocho días en general, excepto las provenientes de cuatro familias (dos familias de Ahuazotepec, una de Acaxochitlán y una de Huayacocotla) con inicio de germinación a los seis días. La germinación diaria en todas las familias dentro de cada procedencia se mantuvo relativamente estable, excepto en una familia de Ahuazotepec, la cual alcanzó un máximo de 35 % a los 10 días.

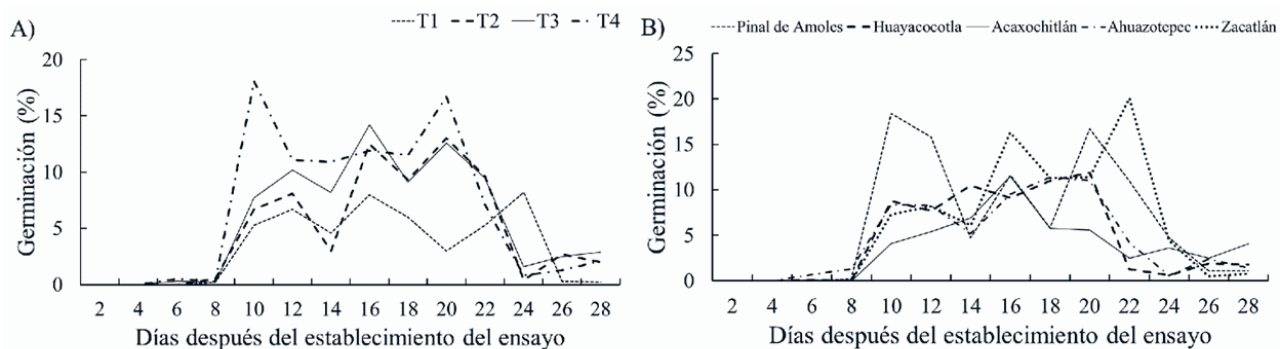
*Germinación acumulada de semilla de Pinus patula bajo el efecto de cuatro tratamientos pregerminativos.* Se en-

**Cuadro 6.** Correlaciones de Pearson entre las variables respuesta de la primera fecha de siembra y las variables bioclimáticas de las procedencias de semilla de *Pinus patula*.

Pearson correlations between the response variables of the first sowing date and bioclimatic variables of *Pinus patula* seed provenances.

Variable dependiente	Variable independiente					
	ELEV	TMEDMF	TMINMF	TMEDMC	TMEA	PPTMA
Altura	-0,52**	0,39 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,45*	0,49*	0,51*
Índice de robustez	-0,48*	0,23 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,42*
Germinación	-0,46*	0,60***	0,54***	0,42*	0,52**	0,50**

Dónde: ELEV = elevación; TMEDMF = temperatura media del mes más frío en °C; TMINMF = temperatura mínima del mes más frío en °C; TMEDMC = temperatura media del mes más cálido en °C; TMEA = temperatura media anual en °C; PPTMA = precipitación media anual en mm; \*, \*\*, \*\*\* = valor significativo con  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  y con  $P \leq 0,001$ ; <sup>ns</sup> = no significativo.



**Figura 4.** A) Germinación diaria de semillas de *Pinus patula* por tratamiento pregerminativo y B) Germinación diaria de semillas de *Pinus patula* por procedencia. Dónde: T1 = testigo; T2 = remojo durante 12 horas antes de la siembra; T3 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas; T4 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas, más remojo por 12 horas antes de la siembra.

A) Daily germination of *Pinus patula* seeds following pre-germinative treatment and B) Daily germination of *Pinus patula* seeds by provenance. Where: T1 = control; T2 = soaking for 12 hours before sowing; T3 = soaking for 12 hours and storing at 3 °C for five weeks; T4 = soaking for 12 hours and storing at 3 °C for five weeks, plus soaking for 12 hours before sowing.

contraron diferencias estadísticas ( $P \leq 0,05$ ) en la germinación de la semilla por efecto del tratamiento pregerminativo, la procedencia y la interacción de estos dos niveles, así como de la familia dentro de cada procedencia (cuadro 7).

El porcentaje de germinación acumulada de la semilla por evaluación (días después del establecimiento del ensayo) fue más favorable durante todo el periodo de evaluación en el tratamiento 4, el cual alcanzó 92,3 % de germinación; en contraste, el tratamiento con menor germinación ocurrió con el testigo (tratamiento 1) con 47,8 %; además, presentó los menores valores de germinación en todas las evaluaciones (figura 5A).

Pinal de Amoles fue la procedencia que mostró los mayores porcentajes de germinación desde los 10 días hasta el final de la evaluación con 91,1 % (figura 5B). Solo una familia (procedente de Zacatlán) presentó el 100 % de germinación, la cual se observó a los 24 días posteriores al establecimiento del ensayo. El menor porcentaje de ger-

minación correspondió a una familia de Ahuazotepec con 40 % (figura 6).

Los promedios de la germinación por efecto de la interacción entre el tratamiento pregerminativo y la procedencia del germoplasma al final de la evaluación variaron de 19,6 a 100 %. Para todas las procedencias, las mejores interacciones se presentaron con el tratamiento con remojo en agua durante 12 horas y almacenamiento por cinco semanas antes de la siembra con remojo adicional por 12 horas previo a la siembra (cuadro 8).

## DISCUSIÓN

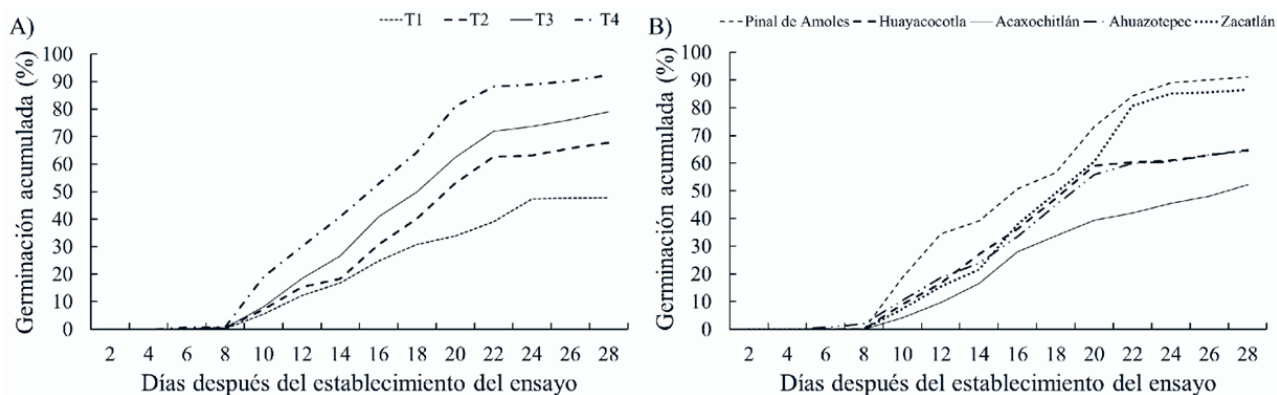
*Germinación y características morfológicas de las plantas producidas en diferentes fechas de siembra.* El porcentaje de germinación obtenido en la primera fecha de siembra puede considerarse aceptable al ser superior al 50 %. En ese sentido, una práctica común en la producción de planta

**Cuadro 7.** Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis en el efecto de los factores evaluados sobre germinación de semilla de *Pinus patula*.

Kruskal-Wallis test results on the effects of the evaluated factors on *Pinus patula* seed germination.

Factor	GL	Valor de Z	Valor de P
Tratamiento pregerminativo	3	234,0	< 0,0001*
Procedencia	4	143,1	< 0,0001*
Familia (Procedencia)	19	25,39	< 0,0001*
Tratamiento pregerminativo x Procedencia	19	16,6	< 0,0001*
Tratamiento pregerminativo x Familia (Procedencia)	45	4,44	< 0,0001*

Dónde: GL = Grados de Libertad. \* = valor significativo con  $P < 0,001$ .



**Figura 5.** A) Porcentaje de germinación acumulada de la semilla de *Pinus patula* por efecto del tratamiento pregerminativo y B) Porcentaje de germinación acumulada de la semilla de *Pinus patula* por efecto de la procedencia del germoplasma. Dónde: T1 = testigo; T2 = remojo durante 12 horas antes de la siembra; T3 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas; T4 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas, más remojo por 12 horas antes de la siembra.

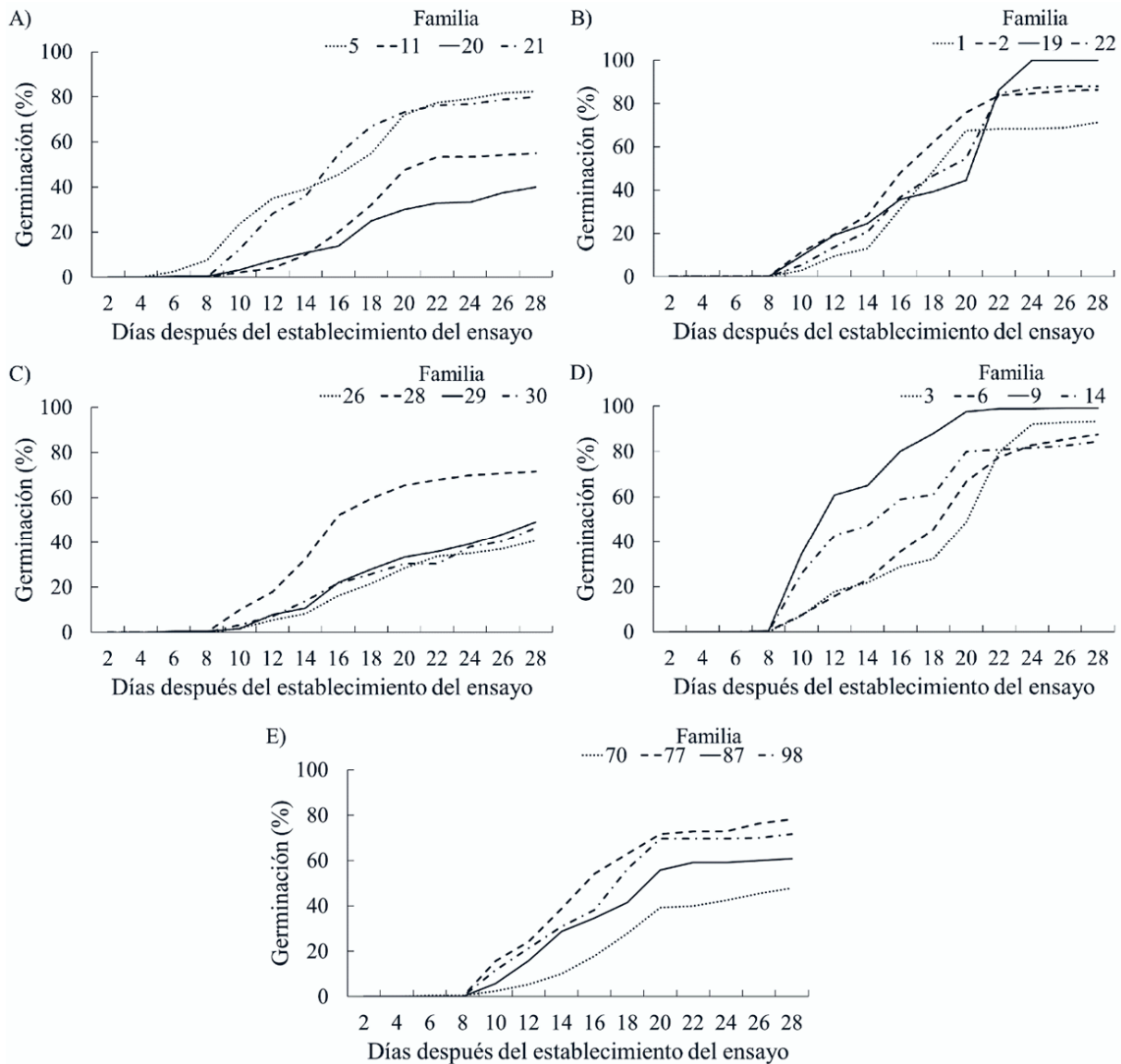
A) Cumulative germination percentage of *Pinus patula* seeds due to the effect of pre-germinative treatment and B) Cumulative germination percentage of *Pinus patula* seed due to the origin of the germplasm. Where: T1 = control; T2 = soaking for 12 hours before sowing; T3 = soaking for 12 hours and storing at 3 °C for five weeks; T4 = soaking for 12 hours and storing at 3 °C for five weeks, plus soaking for 12 hours before sowing.



en vivero es la siembra de al menos dos semillas por cavidad (contenedor), pues se espera obtener al menos 50 % de germinación (Martínez-Nevárez *et al.* 2023). La nula germinación en las fechas de siembra del 15 de febrero y 15 de marzo de 2023 podría deberse a daños en la semilla dadas las temperaturas máximas atípicas (> 42 °C) registradas en los meses de establecimiento de los ensayos. En ese sentido, González *et al.* (2017) advierten que factores extremos como la temperatura y la humedad suelen afectar la germinación de semillas de *Pinus patula* en vivero. Este fenómeno no puede desestimarse, pues estas variaciones, causadas principalmente por el cambio climático, evidencian los retos que adquieren las especies forestales para

optimizar su multiplicación sexual ante escenarios poco predecibles (Sáenz-Romero *et al.* 2020). Se han reportado bajos porcentajes de germinación en *P. contorta* Douglas al someter la semilla a altas temperaturas (45 a 120 °C), con germinación entre 2,5 y 20 % (Cóbar-Carranza *et al.* 2015).

Una alternativa para mejorar el índice de robustez y aumentar la calidad de planta de *Pinus patula* es tenerla menos tiempo en condiciones de invernadero y malla sombra, para evitar que el tallo se elongue en exceso, y alargar su estadía en condiciones de intemperie, lo que favorece la disminución del crecimiento en altura de la parte aérea y contribuye a lignificarse más; otra alternativa es utilizar envases de mayor diámetro para que la densidad de



**Figura 6.** Germinación acumulada de semillas de *Pinus patula* por familia dentro de cada procedencia. A) Ahuazotepec, B) Zacatlán, C) Acaxochitlán, D) Pinal de Amoles y E) Huayacocotla.

Cumulative germination of *Pinus patula* seeds by family for each provenance. A) Ahuazotepec, B) Zacatlán, C) Acaxochitlán, D) Pinal de Amoles and E) Huayacocotla.

**Cuadro 8.** Porcentaje promedio de germinación  $\pm$  error estándar de la semilla de *Pinus patula* por efecto de la interacción entre los tratamientos pregerminativos y las procedencias del germoplasma.

Average germination percentage  $\pm$  standard error of *Pinus patula* seeds due to the effect of the interaction between pregerminative treatments and germplasm provenance.

Interacción	Media $\pm$ Error estándar	Coefficiente de variación
T1 – Pinal de Amoles	78,3 $\pm$ 5,5 d	24,4
T2 – Pinal de Amoles	92,1 $\pm$ 2,6 b	9,7
T3 – Pinal de Amoles	94,2 $\pm$ 2,2 b	8,1
T4 – Pinal de Amoles	100,0 $\pm$ 0,0 a	0,0
T1 – Huayacocotla	19,6 $\pm$ 5,6 j	85,5
T2 – Huayacocotla	53,3 $\pm$ 7,9 g	51,2
T3 – Huayacocotla	85,8 $\pm$ 7,4 c	29,9
T4 – Huayacocotla	100,0 $\pm$ 0,0 a	0,0
T1 – Acaxochitlán	37,9 $\pm$ 4,1 i	37,9
T2 – Acaxochitlán	47,1 $\pm$ 3,3 h	24,6
T3 – Acaxochitlán	52,9 $\pm$ 4,8 g	31,6
T4 – Acaxochitlán	70,4 $\pm$ 5,7 e	27,8
T1 – Ahuazotepec	40,4 $\pm$ 7,5 i	64,3
T2 – Ahuazotepec	57,5 $\pm$ 5,9 g	35,3
T3 – Ahuazotepec	68,8 $\pm$ 6,9 e	34,7
T4 – Ahuazotepec	90,8 $\pm$ 5,1 b	19,4
T1 – Zacatlán	62,9 $\pm$ 4,1 f	43,3
T2 – Zacatlán	89,2 $\pm$ 3,7 b	14,3
T3 – Zacatlán	93,3 $\pm$ 2,5 b	9,2
T4 – Zacatlán	100,0 $\pm$ 0,0 a	0,0

Dónde: T1 = testigo; T2 = remojo durante 12 horas antes de la siembra; T3 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas; T4 = remojo durante 12 horas y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas, más remojo por 12 horas antes de la siembra. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ( $P < 0,05$ ) entre procedencias según la prueba de medianas de Dunn.

crecimiento sea menor y la planta crezca más en diámetro al carecer de competencia por espacio lateral. Aldrete *et al.* (2023) indican que cuando las plantas tienen valores menores a 6 ( $\leq 7,5$  si las plantas se producen en charolas cuya altura sea de 12 a 15 cm), se considera que las mismas son más robustas y tendrán una mejor adaptación para minimizar daños físicos en el sitio donde se planten. La siembra tardía “enero” puede ser otra opción para favorecer la robustez de las plantas; este efecto fue observado por Rodríguez (2013) al reportar una disminución del índice de robustez en 0,6 unidades al sembrar en noviembre, con respecto a las plantas producidas mediante la siembra en octubre (fecha común para realizar la siembra de *P. patula* en el centro de México). Sin embargo, debe tenerse precaución ante posibles condiciones ambientales desfavorables que puedan afectar la germinación de la semilla durante el mes de enero, que es limitativo en México debido a que corresponde a la estación de invierno, lo que hace que las temperaturas lleguen a ser inferiores a 0 °C. Los valores

bajos del índice de robustez generalmente están asociados a planta con un tallo robusto y buena proporción de altura/diámetro, lo que le brinda mayor calidad y oportunidad de supervivencia en campo (Prieto-Ruiz *et al.* 2012). En ese sentido, la siembra tardía en enero permitió obtener planta de buena calidad de tres procedencias (Pinal de Amoles, Acaxochitlán y Zacatlán).

Aunque los valores de índice de robustez obtenidos en las plantas provenientes de Huayacocotla (8,08) y Ahuazotepec (7,86) son superiores a lo recomendado por Aldrete *et al.* (2023) ( $< 7,5$ ), podrían considerarse adecuados dado el rápido crecimiento de *Pinus patula*. Bernaola-Paucar *et al.* (2022), determinaron un índice de robustez cercano a 8,0 en *P. radiata* D. Don e indicaron obtener planta de buena calidad para su establecimiento en campo. Además, son menores a los reportados por Rodríguez (2013) para *P. patula*, quien observó índice de robustez de 9,5 y 8,9 al sembrar en octubre y noviembre, respectivamente. También, son mejores que los publicados para *P. greggii* En-

gelm. ex Parl. var. *australis* Donahue et López al sembrar en octubre (10,8) y noviembre (10,2) (Rodríguez 2013).

En el presente estudio se observó una fuerte influencia de la procedencia y el progenitor (familia) en la germinación y las características morfológicas de planta producida en vivero. Fuentes-Amaro *et al.* (2021) observaron mayor germinación en la semilla de *Pinus patula* proveniente de mayor elevación. Estos resultados son similares a los obtenidos en esta investigación en la primera fecha de siembra, a excepción de las familias de Aquixtla (procedencia de mayor elevación), en la cual se obtuvo el menor porcentaje de germinación, lo que se confirma por la correlación negativa entre el porcentaje de germinación y la elevación de las procedencias. Esto podría deberse a que las familias distribuidas en altas elevaciones han evolucionado para adaptar sus patrones biológicos a bajas temperaturas y menor precipitación (Ishizuka *et al.* 2015). Esto se confirma con la correlación positiva entre el porcentaje de germinación de la primera fecha de siembra con la temperatura y la precipitación del origen del germoplasma; es decir, hubo mayor germinación de la semilla proveniente de ambientes más cálidos y húmedos.

Rodríguez (2013) reportó mayor crecimiento en altura y diámetro de *Pinus patula* en vivero de familias de Ahuazotepec (2.350 m s.n.m.) y Huayacocotla (2.100 m s.n.m.) que en familias de Zacatlán (2.360 m s.n.m.), resultados similares a los de esta investigación en familias de las mismas procedencias, lo que confirma que existe mayor crecimiento en progenies de sitios con menor elevación y mayor precipitación (Sáenz-Romero *et al.* 2020) y explica la correlación negativa y positiva de dichas variables, respectivamente, con la altura de las plántulas. Esta correlación también se presentó para el índice de robustez, el cual es directamente proporcional a la altura de las plantas. En ese sentido, es recomendable realizar más ensayos de producción de planta en los que se evalúe el efecto de las procedencias y las progenies en la calidad de las plántulas, sobre todo cuando se trabaja con migración asistida.

*Germinación de semilla de Pinus patula bajo el efecto de cuatro tratamientos pregerminativos.* El efecto de los tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semilla de *Pinus patula* fue evidente. La mayor germinación en las semillas con remojo y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas antes del establecimiento, más remojo de 12 horas antes de la siembra, muestra que esta práctica es efectiva para romper el estado de latencia. En *Pinus tropicalis* Morelet se realizaron tratamientos pregerminativos basados únicamente en el remojo de la semilla en diferentes intervalos de tiempo, sin contemplar un periodo de almacenamiento a baja temperatura, y se reportó germinación menor a 60 % (Bonilla 2001). Por otra parte, los resultados obtenidos en el tratamiento basado en la estratificación en frío y remojo únicamente 12 horas antes de la siembra son similares a los obtenidos en *P. ponderosa* Douglas ex C. Lawson al estratificar la semilla en frío (3 a 5 °C) duran-

te 40 días, pues se reportó 80 % de germinación bajo dicha condición pregerminativa (Basil *et al.* 2001).

Carvajal y Cardona (1998) reportaron 20 % de germinación en semillas de *Juglans neotropica* Diels. estratificadas, consistente en el remojo de la semilla y almacenamiento a 3-5 °C durante cuatro y ocho semanas. Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que la estratificación de semilla de *P. patula* mediante el remojo y almacenamiento a 3 °C durante cinco semanas es efectiva para lograr altos porcentajes de germinación. Por otra parte, Viveros *et al.* (2015) obtuvieron 50 % de germinación en semilla de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. que solo fueron tratadas con remojo durante 96 horas antes del establecimiento del ensayo. Estos resultados son similares a los obtenidos en el ensayo respecto a la semilla que únicamente contó con remojo de 12 horas antes de la siembra, lo que refuerza la idea de que la estratificación en frío es necesaria para aumentar la capacidad germinativa de especies forestales.

Además del tratamiento pregerminativo, la germinación parece estar fuertemente influenciada por la procedencia del germoplasma (Vivero-Viveros *et al.* 2017). Bustamante-García *et al.* (2012) reportaron diferencias en la germinación de semilla de tres rodales semilleros de *Pinus engelmannii* Carr., con porcentajes de germinación que fluctuaron entre 78,5 y 98,1 %. A pesar de que los porcentajes de germinación obtenidos en el presente estudio son menores a los reportados por los autores anteriormente citados, son similares a los obtenidos por Romero-Arenas *et al.* (2013) en la germinación de *P. patula*, quienes reportaron porcentajes de germinación que oscilaron entre 81,2 y 84,5 %.

Cendán *et al.* (2013) señalan que una alternativa para aumentar los porcentajes de germinación en la producción de planta en vivero es realizar la recolección en huertos semilleros sexuales o asexuales. En ese sentido, y aunque los programas de mejoramiento genético forestal de *Pinus patula* en México se han impulsado eficientemente, los huertos establecidos en el país aún no cuentan con la capacidad de producir semilla a gran escala (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2017). Bajo esa perspectiva, es necesario realizar otras investigaciones que desarrollen metodologías de pregerminación que permitan aumentar la eficiencia de semillas de especies de elevado valor comercial y ambiental.

## CONCLUSIONES

La siembra “tardía” de *Pinus patula* permite obtener planta de mejor calidad para ser establecida en campo, ya que se observó que al realizar la siembra en enero, la relación altura/diámetro fue adecuada. Las características morfológicas de las plántulas producidas en vivero se ven fuertemente influenciadas por la procedencia del germoplasma, pues se presentó mayor crecimiento en las plantas proveniente de sitios con menor elevación y mayor precipitación. Estratificar la semilla en niveles de humedad y

frío permite obtener mayores porcentajes de germinación en *P. patula*.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

APL realizó la ejecución y supervisión de la investigación, toma y captura de datos, análisis estadístico e interpretación de resultados, JAPR participó en el diseño metodológico, ejecución y supervisión de la investigación, análisis estadístico y verificación de resultados, JLU participó en el diseño metodológico, análisis estadístico y verificación de resultados, REMA y SSR contribuyeron en la toma de datos y análisis estadístico. Los cinco autores prepararon y revisaron el manuscrito.

## FINANCIAMIENTO

El estudio no recibió financiamiento externo ni interno.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada al primer autor para realizar una estancia posdoctoral académica de continuidad (CVU 561686) bajo el marco de la Convocatoria 2022(1) de Estancias Posdoctorales Por México.

## REFERENCIAS

- Aldrete A, JR Sánchez-Velázquez, M Aguilera-Rodríguez, DA Rodríguez-Trejo. 2023. Calidad de planta en viveros forestales. In: Aldrete A, JR Sánchez-Velázquez, M Aguilera-Rodríguez, D Cibrián-Tovar, SE García-Díaz eds. Manual de buenas prácticas para el manejo de la salud de planta en viveros forestales. Estado de México, México. Universidad Autónoma Chapingo. p. 19-40.
- Basil G, M Leanza, M Honorato. 2001. Ensayo de germinación de semillas de pino con diferentes estratificaciones en frío. *Patagonia Forestal CIEFAP* 7(4):13-15.
- Bernaola-Paucar RM, G Clemente Archi, ML Vilcapoma Paliza. 2022. Indicadores morfológicos de la calidad de cinco especies forestales producidos en vivero. *Agroindustrial Science* 12(2): 175-180. DOI: <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.02.07>.
- Bonilla M. 2001. Efectos de diferentes tratamientos pregerminativos sobre la germinación de *Pinus tropicalis* Morelet. *Recursos Naturales y Ambiente*, 36: 51-54. Consultado 29 jul. 2024. Disponible en <http://bco.catie.ac.cr:8087/portal-revistas/index.php/RRNA/article/view/675/828>
- Burney O, A Aldrete, R Alvarez R, JÁ Prieto R, JR Sánchez V, JG Mexal. 2015 México: Addressing challenges to reforestation. *Journal of Forestry* 113:404-413. DOI: <https://doi.org/10.5849/jof.14-007>.
- Bustamante-García V, JÁ Prieto-Ruiz, E Merlín-Bermudes, R Álvarez-Zagoya, A Carrillo-Parra, JC Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. *Madera y bosques*, 18(3): 7-21. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2012.183355>
- Carvajal JL, EP Cardona. 1998. Respuesta de la semilla de cedro negro (*Juglans neotropica* Diels) a la aplicación de tratamientos pregerminativos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 51(1): 217-235. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfnam>.
- Cendán C, L Sampedro, R Zas. 2013. Maternal environment determines the timing of germination in *Pinus pinaster*. *Environmental and Experimental Botany* 94:66-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.022>.
- Cóbar-Carranza AJ, RA García, A Pauchard, E Peña. 2015. Efecto de la alta temperatura en la germinación y supervivencia de semillas de la especie invasora *Pinus contorta* y dos especies nativas del sur de Chile. *Bosque (Valdivia)* 36(1): 53-60. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000100006>.
- González Ávalos J, A Peralta Cruz, A Hernández Lazcano, R González Ávalos, MG Salgado Mora, S Hernández León. 2017. Efecto del tamaño de envase y familia en el crecimiento y calidad de brinzales de *Pinus patula* Schlechtendal & Chamisso var. *patula* en vivero. *Agrofaz* 17(1): 89-100. Consultado 29 jul. 2024. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6505180>.
- Flores A, G Moctezuma-López. 2021. Cosecha de madera de 20 coníferas en zonas de movimiento de germoplasma. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(66): 122-140. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.829>. Fuentes-Amaro SL, Rodríguez-Laguna R, et Meza-Rangel, M Jiménez-Casas. 2021. Variación altitudinal en emergencia y crecimiento inicial de plantas de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(4): 655-655. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.655>.
- Ishizuka W, K Ono, T Hara, S Goto. 2015. Influence of low- and high-elevation plant genomes on the regulation of autumn cold acclimation in *Abies sachalinensis*. *Frontiers in Plant Science* 6:1-10. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00890>.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1986. Normas Internacionales para ensayos de semillas. Madrid. Ministerio de la Agricultura. 134 p.
- Leibing C, Signer J, Van Zonneveld M, Jarvis A, et al.. 2013. Selection of provenances to adapt tropical pine forests to climate change based on climate analogs. *Forests* 4(1): 155-178. DOI: <https://doi.org/10.3390/f4010155>.
- Martínez-Navárez LE, JÁ Prieto-Ruiz, JÁ Sigala-Rodríguez, JL García-Rodríguez, M Martínez-Reyes, A Carrillo-Parra, PA Domínguez-Calleros. 2023. Crecimiento y eficiencia en el uso de nutrientes de plantas de *Pinus cooperi* CE Blanco producidas en vivero con un fertilizante de liberación controlada. *Revista Terra Latinoamericana* 41:1-12. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1707>.
- Muñoz-Gutiérrez L, JJ Vargas-Hernández, J López-Upton, C Ramírez-Herrera, M Jimenez-Casas, A Aldrete, R Díaz-Ruiz. 2017. Variación espacial y temporal en la dispersión de polen en un huerto semillero y en rodales naturales cercanos de *Pinus patula*. *Bosque (Valdivia)* 38(1): 169-181. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000100017>.
- Prieto-Ruiz JÁ, R Almaraz Roldán, JJ Corral-Rivas, A Díaz Vázquez. 2012. Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(12): 19-28. Consultado 29 jul. 2024. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322012000400003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000400003)

- Rodríguez Méndez C. 2013. Efecto de la fecha de siembra y tamaño de contenedor en el crecimiento de dos especies de pino en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias. Montecillo, Texcoco, México. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. 66 p.
- Romero-Arenas O, JA Rivera Tapia, JF Lopez-Olguín, OA Villarreal Espino Barros, M Huerta Lara, C Parraguirre Lezama. 2013. Germinación de semillas de *Pinus patula* en residuos de cáscara de nuez (*Juglans regia* L.) en vivero. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias* 2(4): 1-17. DOI: <https://doi.org/10.23913/ciba.v2i4.21>.
- Sáenz-Romero C, G O'Neill, SN Aitken, R Lindig-Cisneros. 2020. Assisted migration field tests in Canada and Mexico: Lessons, limitations, and challenges. *Forests*, 12(1): 9. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12010009>.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). 2013. SAS software v. 9.4. The SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Viveros Viveros H, JD Hernández Palmeros, MV Velasco García, R Robles Silva, C Ruiz Montiel, A Aparicio Rentería,... ML Hernández Hernández. 2015. Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(30): 52-65. Consultado 29 jul. 2024. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000400005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000400005)
- Viveros-Viveros H, K Quino-Pascual, MV Velasco-García, G Sánchez-Viveros, E Velasco Bautista. 2017. Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque (Valdivia)* 38(2): 317-326. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200009>.
- Wang T, A Hamann, D Spittlehouse, C Carroll. 2016. Locally downscaled and spatially customizable climate data for historical and future periods for North America. *PLoS ONE* 11(6):e0156720. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156720>.

Recibido: 03/12/2023  
Aceptado: 06/04/2024



