

Supervivencia, fenología vegetativa y floración de rametos de un huerto semillero asexual de *Pinus patula*

Survival, vegetative phenology and flowering of *Pinus patula* ramets from asexual seed orchard

Alberto Pérez-Luna ^a , Javier López-Upton ^{a*} , José Ángel Prieto-Ruiz ^b ,
Rodrigo Rodríguez-Laguna ^c , Rubén Barrera-Ramírez ^{a,d} 

*Autor de correspondencia: ^a Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, tel.: 59 51089668, jlopezupton@gmail.com

^b Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Durango, Durango, México.

^c Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Tulancingo, Hidalgo, México.

^d Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Uruapan, Uruapan, Michoacán, México.

SUMMARY

In asexual seed orchards, genetically improved seed is obtained to produce plants destined for forest plantation programs, which will help increase wood quality and productivity, and reduce cutting cycles. However, asexual seed orchards established in Mexico are not functional and many aspects of their reproductive characteristics remain unknown. The objective of this study was to evaluate the survival, height increase, and vegetative and production (presence) of strobili in juvenile ramets from an asexual seed orchard of *Pinus patula* owing to the effect of the geographical origin of the ortets. The response variables were statistically analyzed using ANOVA, and when significant differences existed ($P < 0.05$), Tukey's mean test was used. Furthermore, using the Pearson test, the correlation between the characteristics evaluated and the bioclimatic variables of the origin of the ortets was determined. Statistical differences were found in survival due to the geographical origin of the ortets and the cloned tree, but not in the other variables. The highest survival was found in ramets with scions from ortets of Tlahuiltepa, Hidalgo and Ahuazotepec, Puebla, both with 94 %. The best clones were: 19 and 20 (Ahuazotepec) and 75 (Agua Blanca, Hidalgo) with 100 % survival. A correlation was observed between vegetative phenology and presence of female strobili with 11 bioclimatic variables. It was concluded that the survival, phenology and production of female strobili of *P. patula* ramets are influenced by their origin.

Keywords: genetic forest improvement, presence of female and male strobili, vegetative phenology.

RESUMEN

En huertos semilleros asexuales se obtiene semilla mejorada genéticamente para producir planta destinada a los programas de plantaciones forestales, lo que ayudará a incrementar la calidad de la madera, productividad y disminuir los ciclos de corta. Sin embargo, los huertos semilleros asexuales establecidos en México son poco funcionales y aún se desconocen muchos aspectos de sus características reproductivas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la supervivencia, el incremento en altura, la fenología vegetativa y producción (presencia) de estróbilos de rametos juveniles de un huerto semillero asexual de *Pinus patula* por efecto de la procedencia geográfica de los ortetos. Las variables respuesta se analizaron estadísticamente con ANOVA y cuando existieron diferencias significativas ($P < 0,05$) con pruebas de medias de Tukey. Además, con la prueba de Pearson se determinó la correlación entre las características evaluadas con las variables bioclimáticas del origen de los ortetos. Se encontraron diferencias estadísticas en la supervivencia por efecto de la procedencia geográfica de los ortetos y el árbol clonado, pero no en las demás variables. La mayor supervivencia se presentó en los rametos de Tlahuiltepa, Hidalgo y Ahuazotepec, Puebla, ambas con 94 %. Los mejores clones fueron: 19 y 20 (Ahuazotepec) y 75 (Agua Blanca, Hidalgo) con 100 % de supervivencia. Se encontró correlación entre la fenología vegetativa y presencia de estróbilos femeninos con 11 variables bioclimáticas. Se concluye que la supervivencia, la fenología y la producción de estróbilos femeninos de rametos de *Pinus patula* está influenciada por su procedencia.

Palabras clave: fenología vegetativa, mejoramiento genético forestal, presencia de estróbilos femeninos y masculinos.

INTRODUCCIÓN

En el centro de México, *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. es la especie forestal de mayor importancia económica debido a la buena calidad de madera, rápido crecimiento y amplia distribución sobre la Sierra Madre Oriental y el este del Eje Neovolcánico Transversal (Leibing *et al.* 2013); además, es la especie más aprovechada del género *Pinus* en el País, se estima que en el periodo 2013 - 2017 aportó el 25,5 % (559.071,96 m³) de la madera en rollo cosechada (Flores y Moctezuma-López 2021). Dada su importancia, es de las especies más usadas en México y en programas de mejoramiento genético forestal en otros países del hemisferio sur, donde se cultiva extensivamente para plantaciones forestales comerciales (Leibing *et al.* 2013).

El mejoramiento genético forestal tiene la finalidad de incrementar la adaptabilidad de la especie al sitio de plantación, la heredabilidad, la tasa de crecimiento de las progenies, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la calidad del producto final (Vallejo-Reyna y Cob-Uicab 2021). Los huertos semilleros asexuales se forman con clones de árboles superiores y permiten obtener ganancia genética a corto plazo, producir semilla en cantidad abundante y con alta variabilidad genética (Ipinza *et al.* 2016). Los principales métodos de propagación vegetativa para establecer huertos semilleros asexuales de coníferas son los injertos (Pérez-Luna *et al.* 2020). La propagación vegetativa permite el rejuvenecimiento de árboles maduros, lo que acelera la fenología sexual y el proceso de cruzamiento (White *et al.* 2007).

En los huertos semilleros se produce semilla por medio de cruces controladas, y aunque maximizar la diversidad genética es costoso, usualmente se realiza polinización libre cuya eficacia depende del tamaño del huerto y de la sincronización floral, la que mejora con la edad de los árboles (Ipinza *et al.* 2016). A pesar de que en México se ha iniciado el establecimiento de huertos semilleros asexuales de *P. patula*, la densidad de plantación tiende a ser baja debido a la alta mortalidad de los rametos dentro del huerto por efectos de incompatibilidad. Pérez-Luna *et al.* (2020) advierten que la compatibilidad entre una púa y un portainjerto depende en gran medida de su afinidad taxonómica. En ese sentido, se ha evaluado el efecto de diferentes niveles de afinidad en injertos de *P. patula*, los cuales son homoinjertos (material proveniente de la misma fuente genética) (González-Jiménez *et al.* 2023), injertos intraespecíficos (órganos de la misma especie, pero de diferente fuente genética) e interespecíficos (injertos realizados con púas y patrones de diferente especie, pero del mismo género) (Castro-Garibay *et al.* 2017). Sin embargo, la supervivencia de los rametos en campo no depende únicamente de la compatibilidad. En ese sentido, el manejo silvícola deficiente del huerto, condiciones ambientales extremas, proliferación de plagas y enfermedades y el ataque por fauna nociva son factores que aumentan las tasas de mortalidad (Prescher 2007).

Por otra parte, ha sido complicado realizar la reproducción masiva de germoplasma forestal por la edad y talla de los rametos (Méndez-Neri *et al.* 2020), y también se desconoce la dinámica reproductiva de huertos semilleros asexuales recién establecidos. Por ello, evaluaciones tempranas podrían ayudar a detectar a los clones con comportamiento precoz (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2017), además de brindar información útil a nivel operativo, lo que permitirá realizar actividades que ayuden a aumentar el tamaño efectivo de la población (mayor número de clones representados en la progenie del huerto) (Sivacioğlu 2010).

Para incrementar la diversidad genética y aumentar la adaptabilidad en ambientes contrastantes se han incluido genotipos de diversos orígenes, los que pueden presentar adaptación inadecuada con mortandad y asincronización floral (Ramírez-Herrera *et al.* 2005). Por otra parte, Vallejo-Reyna y Cob-Uicab (2021) recomiendan usar procedencias y progenies en los programas de mejoramiento genético para conseguir la selección adecuada de los genotipos superiores con base en una característica fenotípica deseada. Es por eso que se debe considerar el uso de un número elevado de procedencias-progenies, sobre todo en huertos semilleros asexuales de primera generación, pues al ser clones de árboles seleccionados en rodales naturales, su contribución a la producción de semilla mejorada estará en función del desempeño que estos puedan tener en condiciones distintas a su origen (Ipinza *et al.* 2016). Sin embargo, es importante contar con resultados previos de ensayos de progenies antes de establecer huertos semilleros asexuales (Prescher 2007).

La hipótesis de este estudio es que existen diferencias significativas en la supervivencia, el incremento en altura, la fenología vegetativa y la producción (presencia) de estróbilos femeninos y masculinos de los rametos de un huerto semillero asexual de *Pinus patula* por efecto de la procedencia de los ortetos, así como correlación entre las variables evaluadas y las variables bioclimáticas del sitio de origen de los ortetos. Los objetivos de este trabajo son: i) evaluar y comparar la supervivencia de los rametos por procedencia y por clon, ii) estimar y comparar el incremento en altura, la fenología vegetativa y la presencia de estróbilos femeninos y masculinos de los rametos por procedencia y por clon durante la época de floración de un ciclo y iii) determinar la correlación entre las variables evaluadas y las variables bioclimáticas del sitio de origen de los clones.

MÉTODOS

Características del área de estudio. El huerto semillero asexual se estableció con rametos realizados con púas de ortetos seleccionados en 10 procedencias distribuidas entre los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz (cuadro 1). El amplio rango de elevación entre las procedencias seleccionadas se determinó para probar clones adaptados a diferentes condiciones dada la evolución de la especie (Leibing *et al.* 2013).

El huerto evaluado se ubica en la Ciudad Universitaria de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), en el municipio de Tulancingo, Hidalgo, en las coordenadas 20° 07' 41,3'' N y 98° 53' 42,18'' O a 2.181 m de elevación sobre el nivel del mar (figura 1).

Los rametos evaluados fueron plantados en los años 2019 y 2020. Los portainjertos se produjeron en el vivero de la Ciudad Universitaria de la UAEH. La siembra se

realizó en contenedores plastificados con capacidad de 310 cm³ y sustrato compuesto por perlita, vermiculita y turba en proporción de 1:1:2 respectivamente. Las plantas se trasplantaron al año de edad a bolsas de plástico negro de 5 L. Se utilizó una mezcla de sustrato de corteza de pino compostada, turba de musgo, perlita y aserrín de pino crudo (4:2:2:2). Los portainjertos se podaron constantemente para evitar su crecimiento excesivo en altura, y tenían una

Cuadro 1. Procedencias de los ortetos de *Pinus patula*.

Provenance of *Pinus patula* ortets.

Estado	Procedencia	Número de ortetos clonados	Elevación (m s.n.m.)
Hidalgo	Zacualtipán	6	2.072
	Metztitlán	5	2.136
	Tlahuiltepa	3	2.157
	Acaxochitlán	2	2.203
	Agua Blanca	3	2.246
	San Bartolo Tutotepec	5	2.270
Veracruz	Huayacocotla	23	2.345
Puebla	Ahuazotepec	7	2.361
	Zacatlán	2	2.421
	Tlatlauquitepec	8	2.539

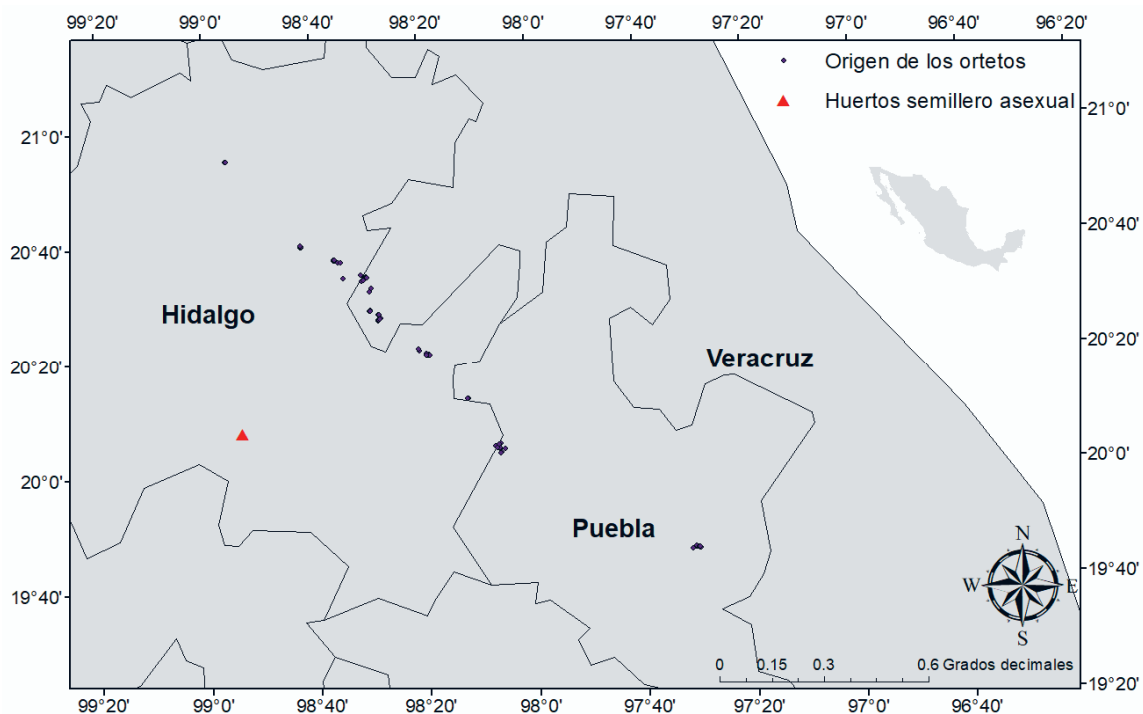


Figura 1. Ubicación geográfica de los ortetos y del huerto semillero asexual de *Pinus patula*.

Geographical location of the ortets and asexual seed orchard of *Pinus patula*.

edad de 18 meses al momento del injertado, con altura y diámetro al cuello de la raíz promedio de 70,0 y 0,9 cm, respectivamente, y cumplían con las características de calidad para realizar injertos (González-Jiménez *et al.* 2023). En cada fecha de plantación se usaron injertos de seis meses de edad. El huerto fue establecido en un diseño en bloques completos al azar, con 64 rametos por bloque con 16 repeticiones, con espaciamiento de 5 m entre cada rameto, en una superficie de 2,65 ha.

Condiciones del terreno. El huerto se estableció en una parcela agrícola en desuso. Las principales características fisicoquímicas del suelo observadas fueron: 6,9 de pH, 0,11 mmohs cm⁻¹ de conductividad eléctrica, 4,1 % de materia orgánica, 48 ppm de fosforo, 0,9 ppm de potasio y 0,9 meq 100g⁻¹ de nitrógeno-amonio (N-NH4). El terreno cuenta con una pendiente de 2 %; para la plantación de los rametos el terreno se preparó con una rastra y un subsuelo agrícola a una profundidad de 40 cm; se realizaron cepas de 40 x 40 x 40 (ancho, largo y profundidad). Al establecer cada rameto se le agregó 1 g de hidrogel en polvo para aumentar la retención de humedad.

El huerto cuenta con un sistema de riego por goteo, con válvulas de riego individuales para cada rameto. Los riegos aplicados fueron de auxilio durante el periodo de estiaje (noviembre-mayo) con 2,5 L de agua aproximadamente por rameto. Cada riego se realizó en lapsos de 15 días.

Intervalo geográfico y variables bioclimáticas. Los valores de las variables bioclimáticas (temperatura máxima, media y mínima, precipitación y grados-día mayor a 5 °C) del origen de los ortetos y del sitio de plantación del huerto semillero asexual durante el periodo de evaluación (diciembre de 2021-mayo de 2022) se obtuvieron con el programa ClimateNA v5.3 (Spittlehouse y Wang 2016), mientras que el índice de sequía se calculó con la ecuación descrita por Viveros-Viveros *et al.* (2017) (ecuación 1). Por último, la distancia geográfica se obtuvo al restar la latitud del ensayo a la latitud de origen de los ortetos. Los valores promedio del intervalo geográfico y variables bioclimáticas se presentan en el cuadro 2.

$$ISPE = \frac{\sqrt{GD5PE}}{PMPE} \quad [1]$$

Dónde: ISPE = índice de sequía en el periodo de evaluación; GD5PE = Grados-día mayor a 5 °C en el periodo de evaluación; PMPE = precipitación media en el periodo de evaluación en mm.

Variables evaluadas y análisis estadístico. Se realizaron seis evaluaciones mensuales durante el periodo de diciembre de 2021 a mayo de 2022, en las cuales se registró la supervivencia, incremento en altura, fenología vegetativa y presencia de estróbilos femeninos y masculinos de los

Cuadro 2. Valores promedio del intervalo geográfico y variables bioclimáticas de los sitios de origen (SO) y establecimiento del huerto (HSA) de *Pinus patula* en el periodo diciembre de 2022 a mayo de 2023.

Average values of geographical range and bioclimatic variables of the sites of origin of the ortets (SO) and establishment of the *Pinus patula* orchard (HSA) from December 2022 to May 2023.

Variable	Valor		Variable	Valor		Variable	Valor	
	SO	HSA		SO	HSA		SO	HSA
Latitud (°N)	20,4	20,1	Tmed en febrero	11,9	14,6	PP en diciembre	18,9	5,0
Longitud (°O)	98,4	98,9	Tmed en marzo	15,2	17,4	PP en enero	13,7	5,0
Elevación (m s.n.m.)	2.251	2.181	Tmed en abril	18,5	20,5	PP en febrero	15,9	6,0
Tmáx en diciembre	22,7	26,2	Tmed en mayo	19,1	21,1	PP en marzo	11,8	8,0
Tmáx en enero	19,8	24,1	Tmín en diciembre	7,6	8,8	PP en abril	29,6	26,0
Tmáx en febrero	19,9	24,1	Tmín en enero	4,1	5,1	PP en mayo	13,7	21,0
Tmáx en marzo	24,4	28,1	Tmín en febrero	4,0	5,1	PMPE	103,9	71,0
Tmáx en abril	27,1	30,4	Tmín en marzo	5,9	6,7	GD5PE	1.907	2.308
Tmáx en mayo	27,2	30,2	Tmín en abril	9,9	10,5	ISPE	0,42	0,67
Tmed en diciembre	15,2	17,5	Tmín en mayo	10,9	11,9	DG (° N)	0,24	-0,24
Tmed en enero	12,0	14,6	TMPE	15,3	17,6			

Dónde: Tmáx = temperatura máxima en °C; Tmed = temperatura media en °C; Tmín = temperatura mínima en °C; TMPE = temperatura media en el periodo de evaluación en °C; PP = precipitación en mm; PMPE = precipitación media en el periodo de evaluación en mm; GD5PE = grados-día mayor a 5 °C en el periodo de evaluación; ISPE = índice de sequía en el periodo de evaluación; DG = distancia geográfica.

rametos. La supervivencia se registró para todos los rametos del huerto y se evaluó como variable dicotómica: vivo (0) y muerto (1). En la primera evaluación se registró la altura total y la longitud del último verticilo. Durante las evaluaciones posteriores se midió el incremento en elongación del verticilo basado en la primera evaluación. Las mediciones se realizaron con flexómetro (mm). La fenología vegetativa de los rametos se determinó con base en los incrementos registrados en el último verticilo (correspondiente al primer ciclo de crecimiento anual de la especie), y fue registrada con variables politómicas: latencia (0), inicio del crecimiento (1) y pleno crecimiento (2). Por último, la ausencia o presencia de estróbilos femeninos y masculinos se categorizó con variables dicotómicas: ausencia (0) y presencia (1). Para las evaluaciones de fenología vegetativa y presencia o ausencia de estróbilos solo se consideraron los árboles con altura mayor a 1,5 m, por lo que, para dichas variables el número de rametos por clon fue variable.

Los datos de incremento en altura de los rametos se analizaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene para determinar el tipo de distribución de los datos y su homogeneidad de varianzas, respectivamente. Para determinar diferencias estadísticas en la supervivencia, la fenología vegetativa y presencia de estróbilos de los rametos por efecto de su procedencia y clon se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con el procedimiento lineal generalizado mixto (GLIMMIX) para datos con distribución binomial y con el procedimiento MIXED para el incremento en altura, ambos de SAS v9.4 (SAS Institute 2013). 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 modelo estadístico usado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + A_j + \beta A_{ij} + B_{k(j)} + \varepsilon_{ijkl} \quad [2]$$

Donde Y_{ijkl} = valor observado del l -ésimo rameto del k -ésimo clon dentro de la j -ésima procedencia en el i -ésimo bloque, μ = media poblacional, β_i = efecto aleatorio del i -ésimo bloque ($i = 1, 2, \dots, 16$), A_j = efecto fijo de la j -ésima procedencia; βA_{ij} = efecto entre la interacción i -ésimo bloque con la j -ésima procedencia; $B_{k(j)}$ = efecto fijo del k -ésimo clon anidado en procedencia ($k = 1, 2, \dots, 64$) \sim NID ($0, \sigma^2$), ε_{ijkl} = error experimental \sim NID ($0, \sigma^2$).

Adicionalmente, con el procedimiento REG de SAS v9.4 (SAS Institute 2013) se realizaron correlaciones de Pearson entre las medias de supervivencia, incremento en altura, altura total y fenología de los clones (conjunto de rametos de un mismo orteto) con las siguientes variables bioclimáticas del origen de cada clon: latitud (N), longitud (O), elevación, temperatura máxima, mínima y media y precipitación en el periodo de evaluación y la distancia geográfica (movimiento latitudinal de los clones). La correlación alta positiva y negativa y estadísticamente

significativa ($P < 0,05$) se consideró con coeficientes de correlación mayores a 0,5 o menores a -0,5 con un intervalo de confianza del 95 % ($\alpha = 0,05$). En los casos donde se observó correlación en la supervivencia, incremento en altura, fenología vegetativa y presencia de estróbilos con las variables bioclimáticas, se realizó una prueba t para muestras independientes entre las variables bioclimáticas del origen de los ortetos y sus variables homologas del huerto semillero asexual, para detectar diferencias entre ambas condiciones.

RESULTADOS

Supervivencia. Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en la supervivencia de los clones a los dos años de establecido el huerto semillero asexual por efecto de la procedencia de los ortetos y por efecto del clon (cuadro 3). Las procedencias de los ortetos con mayor supervivencia de rametos del huerto fueron Tlahuiltepa y Ahuazotepec, ambas con 94 % (figura 2).

La supervivencia de todos los clones varió de 50 a 100 %, con 21 clones en el grupo estadístico superior (grupo a, según la prueba de separación de medias de Tukey) y supervivencias de 90 a 100 % (cuadro 4).

Incremento en altura, fenología vegetativa y presencia de estróbilos. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en el incremento y la altura total de los rametos, es importante mencionar que la altura promedio inicial fue 2 m (18 meses de edad) y la altura total al final de la evaluación (dos años) fue 2,4 m, con un incremento promedio de 40 cm en altura en un lapso de seis meses.

No se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) en la fenología vegetativa y presencia de estróbilos en los rametos de los clones evaluados del huerto semillero asexual. Todos los rametos evaluados presentaron fenología vegetativa activa al final de la evaluación. Por otra parte, solo nueve clones (14 %) del huerto desarrollaron estructuras sexuales femeninas. Dichos clones fueron: Zacualtipán (69 y 72), Metztlán (27 y 30), Huayacocotla (36, 46 y 58) y Ahuazotepec (18 y 24). Y en esta misma edad solo se encontró la formación de estructuras sexuales masculinas en el 17 % (11) de los clones del huer-

Cuadro 3. Análisis de varianza en la supervivencia de los clones del huerto de *Pinus patula*.

Analysis of variance for the survival of *Pinus patula* orchard clones.

Factor	Grados de libertad	Cuadrado de la media	Valor de F	P < F
Procedencia	9	0,020	2,53	0,0072*
Clon	63	0,811	1,52	0,0073*

Dónde: * = valor significativo con $P < 0,01$.

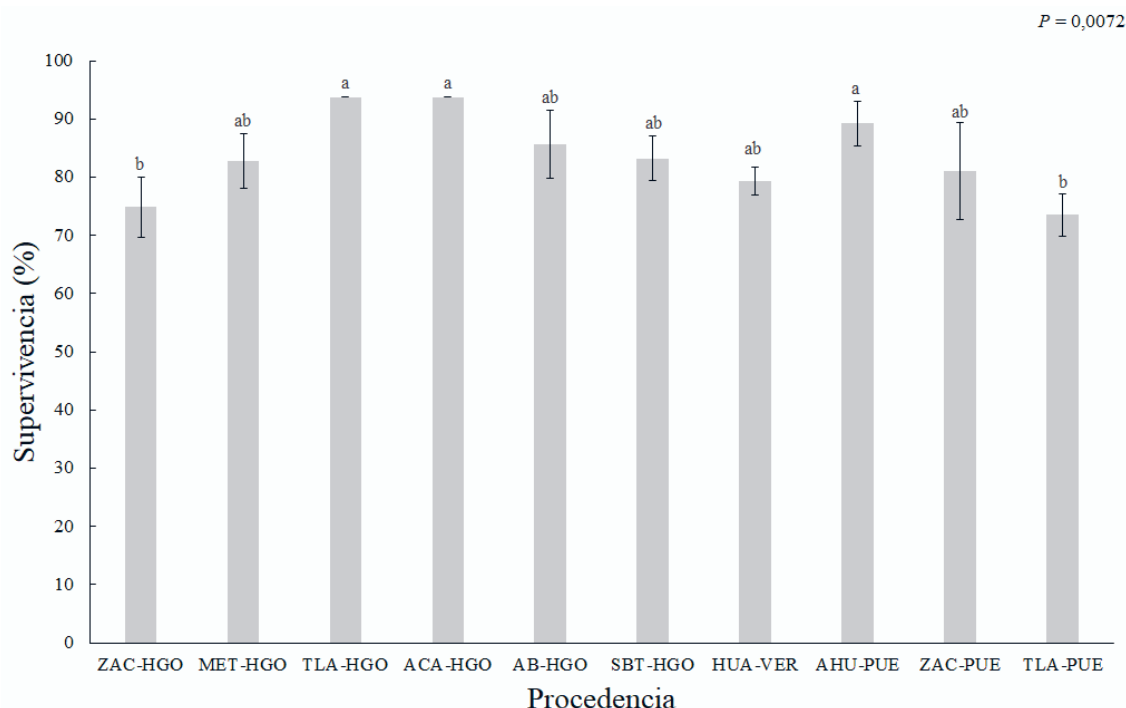


Figura 2. Supervivencia de rametos de *Pinus patula* por procedencia. Dónde: ZAC-HGO = Zacualtipán; MET-HGO = Metztlán; TLA-HGO = Tlahuiltepa; ACA-HGO = Acaxochitlán AB-HGO = Agua Blanca; SBT-HGO = San Bartolo Tutotepec; HUA-VER = Huayacocotla; AHU-PUE = Ahuazotepec; ZAC-PUE = Zacatlán; TLA-PUE = Tlatlauquitepec. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre procedencias según la prueba de medias de Tukey. Barras expresan el error estándar.

Survival of *Pinus patula* ramets according to origin. Where: ZAC-HGO = Zacualtipán; MET-HGO = Metztlán; TLA-HGO = Tlahuiltepa; ACA-HGO = Acaxochitlán AB-HGO = Agua Blanca; SBT-HGO = San Bartolo Tutotepec; HUA-VER = Huayacocotla; AHU-PUE = Ahuazotepec; ZAC-PUE = Zacatlán; TLA-PUE = Tlatlauquitepec. Different letters indicate statistically significant differences ($P < 0.05$) between provenance according to Tukey's mean test. The bars indicate the standard error.

to: Zacualtipán (70), Metztlán (26 y 27), Tlahuiltepa (66), Agua Blanca (73), San Bartolo Tutotepec (62), Huayacocotla (40, 50 y 57) y Ahuazotepec (17 y 18). Únicamente los clones 18 y 27, que corresponden a las procedencias de Ahuazotepec y Metztlán, desarrollaron ambos tipos de estructuras reproductivas. Además, solo logró observarse presencia de estróbilos femeninos y masculinos en abril de 2022.

Correlación de las características con las variables geográficas y bioclimáticas. No se encontraron correlaciones significativas altas ($r \geq 0,5$ o $r \leq -0,5$) en la supervivencia de los rametos con respecto a las variables bioclimáticas del origen de los clones. Solo se encontraron correlaciones significativas altas positivas o negativas ($r \geq 0,5$ o $r \leq -0,5$) en la fenología vegetativa y la presencia de estróbilos femeninos con respecto a 8 y 7 variables bioclimáticas, respectivamente (cuadro 5).

Contraste entre las variables bioclimáticas del origen de los ortetos y el huerto semillero asexual. Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$) entre todas las variables bioclimáticas del origen de los ortetos

correlacionadas con la fenología vegetativa y la floración femenina de los rametos del huerto con respecto a sus variables bioclimáticas equivalentes del sitio de establecimiento del huerto (cuadro 6).

DISCUSIÓN

Supervivencia. La supervivencia de los rametos fue variada (50 a 100 %), lo que podría afectar la correcta operatividad del huerto semillero asexual de *Pinus patula*. Aunque los injertos han resultado una alternativa viable para establecer huertos semilleros asexuales, las altas tasas de mortalidad de injertos de algunas especies dificulta la eficiencia de un huerto en cuanto al número de clones y rametos que participan en la producción de semilla (es decir, al tamaño efectivo de la población) (Sivacioğlu 2010). Esto genera la necesidad de realizar el injertado continuamente en diferentes ciclos para la reposición de rametos en el huerto (Pérez-Luna *et al.* 2020).

El huerto evaluado en esta investigación contaba con dos años, lo cual no garantiza la ausencia de mortalidad de rametos en años posteriores. Varios autores han reportado la muerte de injertos incluso de uno hasta cinco años

después de su establecimiento en campo (Kita *et al.* 2018, Pérez-Luna *et al.* 2020). Las principales causas de mortalidad de rametos adultos se debe a incompatibilidad tardía de forma localizada (falta de coincidencia proporcional o taxonómica entre los órganos injertados) o translocada (inadecuada aplicación de la técnica de injertado) (Dogra *et*

al. 2018). Para evitar mortalidad de rametos por incompatibilidad localizada o translocada, es necesario realizar el injertado con máxima precisión y con patrones de calidad, además de monitorear los injertos de forma minuciosa antes de establecer el huerto semillero asexual (Pérez-Luna *et al.* 2020).

Cuadro 4. Porcentaje de supervivencia y separación de medias de Tukey de los clones del huerto de *Pinus patula*
 Survival percentage and separation of Tukey's means of *Pinus patula* orchard clones.

Procedencia (Clon)	Media ± error estándar	Procedencia (Clon)	Media ± error estándar
Zacualtipán (31)	71,4 ± 12,1 b	Huayacocotla (46)	93,3 ± 8,3 a
Zacualtipán (32)	85,7 ± 10,8 ab	Huayacocotla (47)	90,0 ± 12,4 a
Zacualtipán (33)	50,0 ± 12,5 c	Huayacocotla (48)	92,9 ± 9,8 a
Zacualtipán (34)	81,3 ± 9,8 ab	Huayacocotla (49)	93,8 ± 6,1 a
Zacualtipán (69)	87,5 ± 8,3 ab	Huayacocotla (50)	87,5 ± 8,3 ab
Zacualtipán (70)	73,3 ± 11,6 b	Huayacocotla (51)	93,8 ± 6,1 a
Metztitlán (26)	84,6 ± 11,6 ab	Huayacocotla (52)	76,9 ± 12,1 b
Metztitlán (27)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (53)	73,3 ± 11,6 b
Metztitlán (28)	66,7 ± 12,1 bc	Huayacocotla (54)	76,9 ± 12,1 b
Metztitlán (29)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (55)	84,6 ± 11,6 ab
Metztitlán (30)	75,0 ± 10,8 b	Huayacocotla (56)	50,0 ± 12,4 c
Tlahuiltepa (66)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (57)	93,3 ± 8,3 a
Tlahuiltepa (67)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (58)	75,0 ± 12,4 b
Tlahuiltepa (68)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (59)	61,5 ± 12,5 bc
Acaxochitlán (71)	93,8 ± 6,1 a	Huayacocotla (60)	81,3 ± 9,8 ab
Acaxochitlán (72)	93,8 ± 6,1 a	Ahuazotepec (17)	72,7 ± 12,5 b
Agua Blanca (73)	78,6 ± 11,6 b	Ahuazotepec (18)	91,7 ± 11,6 a
Agua Blanca (74)	78,6 ± 11,6 b	Ahuazotepec (19)	100 ± 0 a
Agua Blanca (75)	100 ± 0 a	Ahuazotepec (20)	100 ± 0 a
San Bartolo Tutotepec (61)	93,3 ± 8,3 a	Ahuazotepec (21)	92,9 ± 9,8 a
San Bartolo Tutotepec (62)	68,8 ± 11,6 bc	Ahuazotepec (23)	75,0 ± 12,4 b
San Bartolo Tutotepec (63)	80,0 ± 10,8 ab	Ahuazotepec (24)	92,3 ± 10,8 a
San Bartolo Tutotepec (64)	87,5 ± 8,3 ab	Zacatlán (15)	92,9 ± 9,8 a
San Bartolo Tutotepec (65)	86,7 ± 9,8 ab	Zacatlán (16)	69,2 ± 10,8 bc
Huayacocotla (36)	64,3 ± 12,4 bc	Tlatlauquitepec (1)	68,8 ± 11,6 bc
Huayacocotla (37)	72,7 ± 12,5 b	Tlatlauquitepec (2)	73,3 ± 11,6 b
Huayacocotla (38)	83,3 ± 12,1 ab	Tlatlauquitepec (3)	81,3 ± 9,8 ab
Huayacocotla (39)	68,8 ± 11,6 bc	Tlatlauquitepec (4)	73,3 ± 11,6 b
Huayacocotla (40)	86,7 ± 9,8 ab	Tlatlauquitepec (5)	66,7 ± 12,1 bc
Huayacocotla (41)	84,6 ± 11,6 ab	Tlatlauquitepec (6)	75,0 ± 12,1 b
Huayacocotla (44)	73,3 ± 11,6 b	Tlatlauquitepec (7)	93,3 ± 8,3 ab
Huayacocotla (45)	66,7 ± 11,5 bc	Tlatlauquitepec (9)	56,3 ± 12,4 c

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

Cuadro 5. Correlaciones de Pearson entre la fenología vegetativa y la presencia de estróbilos femeninos con las variables bioclimáticas del origen de los ortetos de los clones del huerto de *Pinus patula*.

Pearson correlations between vegetative phenology and the presence of female strobili with bioclimatic variables of the origin of the orthets of *Pinus patula* orchard clones.

	Variable independiente										
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
FV	-0,35 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,51*	0,25 ^{ns}	0,50*	0,50*	0,58*	0,69**	0,51*	-0,61*	0,30 ^{ns}
PEF	0,89**	-0,71*	0,11 ^{ns}	0,59*	-0,52*	-0,33 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,45 ^{ns}	-0,51*	0,58*	0,62**

Dónde: FV = fenología vegetativa; PEF = presencia de estróbilos femeninos; V1 = latitud; V2 = elevación; V3 = temperatura mínima en febrero; V4 = temperatura mínima en marzo; V5 = precipitación en diciembre; V6 = precipitación en enero; V7 = precipitación en febrero; V8 = precipitación en marzo; V9 = precipitación en abril; V10 = índice de sequía; V11 = distancia geográfica. * = valor significativo con $P \leq 0,05$; ** = valor significativo con $P \leq 0,01$; ns = no significativo con $P \leq 0,05$.

Cuadro 6. Prueba t para medias independientes entre los promedios de las variables bioclimáticas del origen de los ortetos con alta correlación (positiva o negativa) con la fenología vegetativa y la floración femenina de los rametos de *Pinus patula* con respecto a sus variables equivalentes del sitio de establecimiento del huerto.

T-test for independent means between the averages of the bioclimatic variables of the origin of the ortets with high correlation (positive or negative) with the vegetative phenology and female flowering of the ramets of *Pinus patula* with respect to their equivalent variables of the establishment site of the vegetable patch.

Variable	Valor de P
Latitud promedio (° N)	0.0010**
Elevación promedio (m s.n.m.)	0.0156*
Temperatura mínima promedio en febrero (°C)	0.0036**
Temperatura mínima promedio en marzo (°C)	0.0026**
Precipitación promedio en diciembre de 2022 (mm)	0.0498*
Precipitación promedio en enero de 2023 (mm)	0.0326*
Precipitación promedio en febrero de 2023 (mm)	0.0377*
Precipitación promedio en marzo de 2023 (mm)	0.0143*
Precipitación promedio en abril de 2023 (mm)	0.0174*
Índice de sequía promedio	0.0008***
Distancia geográfica promedio (° N)	0.0010**

Dónde: * = valor significativo con $P \leq 0,05$; ** = valor significativo con $P \leq 0,01$; *** = significativo con $P \leq 0,001$.

Dogra *et al.* (2018) señalan que una de las principales causas de incompatibilidad tardía se debe al nivel de afinidad taxonómica entre las púas y patrones usados para hacer injertos. En ese sentido, se esperaría que la afinidad taxonómica de los órganos de los rametos del huerto semillero asexual evaluado en el presente trabajo sea alta, al haberse establecidos con injertos intraespecíficos de *P. patula*. Sin embargo, Castro-Garibay *et al.* (2017) reportaron alta compatibilidad al injertar púas de *P. patula* en portainjertos de *P. teocote* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham. y *P. leiophylla* Schiede *ex* Schltdl. *et* Cham. en su etapa de evaluación en vivero. En ese sentido, y aunque González-Jiménez *et al.* (2023) sugieren realizar injertos intraespecíficos y homoinjertos (púas y patrones provenientes de

la misma fuente) para asegurar al menos 50 % de compatibilidad genética, sería importante evaluar el desempeño del injertado interespecífico con púas de *P. patula* para determinar su efecto sobre la supervivencia de rametos en huertos semilleros asexuales.

Otros aspectos que aumentan las tasas de mortalidad en huertos semilleros asexuales son las condiciones ambientales adversas que puedan presentarse en el sitio de establecimiento, lo que podría facilitar la proliferación de patógenos y fauna nociva. Otro aspecto es el manejo silvicultura deficiente (Prescher 2007). Dado al elevado índice de sequía en el huerto, es probable que este efecto haya causado la mortalidad de un número considerable de rametos. Por otra parte, el manejo silvícola no podría conside-

rarse deficiente, por lo que es poco probable que su efecto sobre la supervivencia fuese negativo.

Incremento en altura, fenología vegetativa y presencia de estróbilos. En este trabajo no se observó un efecto significativo de la procedencia y el clon en el incremento en altura de los rametos de *Pinus patula*. Tampoco se observó una correlación entre el incremento en altura del huerto y la formación de estróbilos femeninos y masculinos de los rametos. Sin embargo, fue posible observar una actividad fisiológica vegetativa bastante uniforme en el huerto, lo que ayudará a promover mayor aparición de verticilos y brotes secundarios conforme aumente la edad de los rametos. Aunque esto permite obtener púas para realizar injertos y establecer huertos de segunda generación (Pérez-Luna *et al.* 2020), lo más recomendable es realizar podas para generar una copa de estructura simpódica y así promover el desarrollo de yemas florales en cantidad abundante (Ipinza *et al.* 2016). Por otra parte, a pesar de que la altura de los rametos no es un indicador de la operatividad de un huerto semillero asexual (Ipinza *et al.* 2016), es una variable que refleja la capacidad de brotación de los rametos. En ese sentido, se observó que los rametos más altos de un huerto semillero asexual de *P. taeda* L. presentaron mayor número de brotes (Schmidtling 1983).

El bajo número de clones con producción de estróbilos femeninos y masculinos en el huerto evaluado podría deberse a varios factores, entre los que resaltan la poca edad del huerto (dos años), el sitio de plantación y la baja producción de giberelinas de los clones y su procedencia (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2012). Cendán *et al.* (2013) encontraron mayor fecundidad y producción de semilla en huertos semilleros de *P. pinaster* Ait. establecidos en España en suelos con alto índice de sitio. Por otra parte, la fenología vegetativa de los rametos del huerto podría afectar la producción de estróbilos de los mismos. Muñoz-Gutiérrez *et al.* (2012) observaron mayor floración en árboles jóvenes de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco con brotes que retrasaron su elongación. En otro estudio, se encontró que la generación de estróbilos y la fecundidad de *P. sylvestris* L. es mayor en huertos semilleros asexuales establecidos en Turquía que los huertos de la misma especie establecidos en Suecia, aunque el peso de la semilla de los primeros es 50 % mayor que en los segundos, lo que afecta la relación de semillas kg^{-1} , lo que podría deberse a las diferencias climáticas entre sitios (menor temperatura y mayor precipitación en los bosques suecos) (Sivacioğlu 2010).

Se ha observado que la floración de rametos de algunas especies se ve afectada por el tipo de injertos realizados a nivel intraespecífico e interespecífico. Al respecto, Clement *et al.* (1996) reportaron mayor floración en rametos obtenidos por injertos interespecíficos de *Pinus nigra* Arn. (injertados sobre patrones de *P. brutia* Ten.) que los rametos intraespecíficos de *P. nigra*. Aunque en general, los huertos semilleros asexuales jóvenes no tienden a producir semilla en cantidad abundante, debido a bajas tasas de

floración (Méndez-Neri *et al.* 2020). Respecto a ello, la evaluación fenológica permite determinar niveles de sincronización floral (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2017), lo que ayuda en la toma de decisiones para aumentar la productividad y funcionalidad del huerto, con actividades como la inducción floral (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2012), hasta la aplicación de cruza controladas (Ipinza *et al.* 2016). Gooding *et al.* (2000) observaron que la producción de conos con semilla llena en un huerto semillero asexual de *P. elliotii* Engelm. establecido en Mississippi, se presentó en el 94 % de los rametos del huerto al año de su establecimiento, situación que pudo deberse al manejo eficiente de los clones (Prescher 2007).

Correlación entre la fenología vegetativa y la presencia de estróbilos con las variables geográficas y bioclimáticas. La correlación indica que la fenología vegetativa se activó primero en los rametos cuyo origen proviene de sitios con mayor precipitación entre diciembre de 2021 y abril de 2022. Esto explica la elevada correlación negativa que se presentó con el índice de sequía, lo que indica que la fenología vegetativa se activó en mayor medida en los sitios menos secos. Lo anterior era de esperarse, pues los patrones fenológicos de las especies están fuertemente relacionados a las condiciones del sitio de su origen (Ishizuka *et al.* 2015).

Por otra parte, la presencia de estróbilos femeninos fue mayor en los clones que provienen de sitios de mayor latitud (y, por ende, con mayor distancia geográfica) y de menor elevación, temperatura y precipitación en febrero y marzo (meses previos a la aparición de estróbilos). Esto se debe a que los clones de ortetos procedentes de sitios con precipitaciones abundantes requieren mayor humedad para generar estróbilos (Girard *et al.* 2012). En ese sentido, conforme aumente la edad del huerto podrían determinarse grados de precocidad y en función a ello, realizar actividades de mantenimiento para aumentar la sincronización floral y así reducir el riesgo de contaminación genética por rodales externos (Muñoz-Gutiérrez *et al.* 2017).

El sitio donde se estableció el huerto es contrastante con los sitios de origen (procedencias) de los ortetos (cuadro 6), por lo que es más probable que los rametos presenten mal adaptación y no tengan buena respuesta en la floración (Ramírez-Herrera *et al.* 2005). Por ello, es recomendable establecer huertos semilleros asexuales en sitios donde existan condiciones climáticas más favorables con respecto a los sitios de origen de los ortetos, por lo cual es deseable contar con ensayos de procedencias-progenies que permitan evaluar el desempeño de familias en diferentes condiciones ambientales (Ipinza *et al.* 2016).

CONCLUSIONES

El uso de clones de diferentes procedencias permitirá contar con huertos semilleros asexuales de *Pinus patula* más funcionales en el centro-sur de México. Esto ayuda-

rá a seleccionar clones que mejor se adapten a los sitios de plantación, reducir la tasa de mortalidad y consecuentemente, aumentar el tamaño efectivo de la población. Además, realizar evaluaciones de fenología vegetativa y de producción de estróbilos en etapas tempranas será útil para entender la correlación de estos factores con las condiciones bioclimáticas de la procedencia de los ortetos y su adaptación a sitios contrastantes, pues estas características parecen estar fuertemente influenciadas al menos por la elevación, temperatura, precipitación y la distancia geográfica de su origen. Sin embargo, es recomendable contar con resultados previos en ensayos de progenies para aumentar el éxito en huertos semilleros asexuales.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

APL realizó la ejecución y supervisión de la investigación, toma de datos en campo y su captura en gabinete, análisis estadístico e interpretación de resultados, JLU diseño metodológico, ejecución y supervisión de la investigación, análisis estadístico y verificación de resultados, JAPR y RRL participaron en el diseño metodológico y verificación de resultados y RBR contribuyó en la toma de datos en campo y análisis estadístico. Los cinco autores prepararon y revisaron el manuscrito.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) proyecto 291322 del Fondo CONAFOR-CONACYT “Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de *Pinus patula* para la valoración genética de progenitores”.

FINANCIAMIENTOS

Beca CONAHCYT otorgada al primer autor (CVU 561686) para la estancia posdoctoral académica titulada “Evaluación de dos ciclos fenológicos de árboles superiores de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. para el centro de México” dentro del programa de Estancias Posdoctorales por México 2021.

REFERENCIAS

Castro-Garibay SL, A Villegas-Monter, J López-Upton. 2017. Anatomy of rootstocks and scions in four pine species. *Forest Research* 6(3): 1-6. DOI: <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000211>

Cendán C, L Sampedro, R Zas. 2013. The 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>

Climont JM, MA Prada, LA Gil, JA Prados. 1997. Increase of flowering in *Pinus nigra* Arn. subsp *salzmannii* (Dunal) Franco by means of heteroplastic grafts. *Annales des*

Sciences Forestières 54(2): 145-153. DOI: <https://doi.org/10.1051/forest:19970202>

Dogra K, K Kour, R Kumar, P Bakshi, V Kumar. 2018. Graft-incompatibility in horticultural crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 7(2): 1805-1820. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcm.2018.702.218>

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>

Girard F, M Vennetier, F Guibal, C Corona, S Ouarmim, A Herro. 2012. *Pinus halepensis* Mill. Crown development and fruiting declined with repeated drought in Mediterranean France. *European Journal of Forest Research* 131: 919-931. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0565-6>

Gooding GF, FE Bridgewater, DL Bramlett, WJ Lowe. 2000. Top grafting loblolly pine in the western gulf region. In Brown M, M Stine eds. Proceedings of the 25th Biennial Southern Forest Tree Improvement Conference. New Orleans, LO, USA. Southern Forest Tree Improvement Committee. p. 60-65.

González-Jiménez B, M Jiménez-Casas, J López-Upton, MÁ López-López, 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: <https://doi.org/10.5154/rchscfa.2022.08.061>

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: 890. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00890>

Ipinza R, B Gutiérrez, G Clasing, D Corti, MP Molina. 2016. Diseño y establecimiento de un huerto semillero clonal de generación avanzada de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. *Ciencia & Investigación Forestal* 22(2): 7-22. DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2016.453>

Leibing C, J Signer, M van Zonneveld, A Jarvis, 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: <https://doi.org/10.3390/f4010155>

Kita K, H Kon, W Ishizuka, E Agathokleous, M Kuromaru. 2018. Survival rate and shoot growth of grafted Dahurian larch (*Larix gmelinii* var. *japonica*): a comparison between Japanese larch (*L. kaempferi*) and F1 hybrid larch (*L. gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) rootstocks. *Silvae Genetica* 67: 111-116. DOI: <https://doi.org/10.2478/sg-2018-0016>

Méndez-Neri M, C Ramírez-Herrera, JJ Vargas-Hernández, T Martínez-Trinidad, J López-Upton, PA López. 2020. Diversidad genética en dos huertos semilleros de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 43(1): 113-119. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.113>

Muñoz-Gutiérrez L, JJ Vargas-Hernández, HM de los Santos-Posadas, J López-Upton. 2012. Efecto del AG₄₇ y del anillado en el tronco sobre el crecimiento del brote en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(3): 239-249. DOI: <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.3.239>

Muñoz-Gutiérrez L, JJ Vargas-Hernández, J López-Upton, C Ramírez-Herrera, M Jiménez-Casas, A Aldrete, R Díaz-Ruiz. 2017. Variación espacial y temporal en la dispersión de po-

- len en un huerto semillero y en rodales naturales cercanos de *Pinus patula*. *Bosque* 38(1): 169-181. DOI: <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000211>
- Pérez-Luna A, C Wehenkel, JÁ Prieto-Ruiz, J López-Upton, S Solís-González, JA Chávez-Simental, JC Hernández-Díaz. 2020. Grafting in conifers. A review. *Pakistan Journal of Botany* 52(4): 1369-1378. DOI: [https://doi.org/10.30848/PJB2020-4\(10\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-4(10))
- Prescher F. 2007. Seed orchards-genetic considerations on function, management and seed procurement. Doctoral Thesis. Umeå Västerbotten Sweden. Faculty of Forest Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. 49 p.
- Ramírez-Herrera C, JJ Vargas-Hernández, J López-Upton. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72: 1-16. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.997>
- SAS (Statistical Analysis System). 2013. SAS 9.4. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Schmidting RC. 1983. Rootstock influences flowering, growth, and survival of loblolly pine grafts. *Forest Science* 29(1): 117-124. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/29.1.117>
- Sivacioğlu A. 2010. Genetic variation in seed and cone characteristics in a clonal seed orchard of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in Kastamonu-Turkey. *Romanian Biotechnological Letters* 15(6): 5695-5701.
- Spittlehouse BC, T Wang. 2016. Comparison of climate change projections in ClimateNA v5.30. BC, Canada. Ministry of Forest Lands and Natural Resource Operation and Centre for Forest Conservation Genetics, University of British Columbia.
- Vallejo-Reyna MÁ, JV Cob-Uicab. 2021. Tópicos y perspectivas de la investigación científica sobre el mejoramiento genético de especies perennes en INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12 (Especial 1): 154-176. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.1089>
- Viveros-Viveros H, K Quino-Pascual, MV Velasco-García, G Sánchez-Viveros, E Velasco. 2017. Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque* 38(2): 317-326. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200009>
- White T, W Adams, D Neale. 2007. Forest Genetics. Cambridge, MA, USA. CAB International. 682 p.

Recibido: 21.12.22

Aceptado: 08.12.23

