

EFICIENCIA REPRODUCTIVA DE FENOTIPOS SUPERIORES DE *Pinus patula* var.

longepedunculata Loock

Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez, Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Gisela Virginia Campos-Angeles y Vicente Arturo Velasco-Velasco

RESUMEN

La recolecta de conos y semillas en árboles forestales seleccionados requiere determinar la cantidad y calidad de las semillas para su uso en plantaciones forestales comerciales o reforestaciones. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia reproductiva de conos y semillas de 47 árboles de *Pinus patula* var. *longepedunculata* de varias localidades de Oaxaca, México. Los conos se recolectaron en 2018 de árboles seleccionados de diferentes localidades de Sierra Sur (SS) y Sierra Norte (SN) de Oaxaca. En 2019 las semillas se midieron y pesaron separadas por árbol y procedencia y se evaluaron en conos indicadores reproductivos como: proporción de escamas

fértiles, potencial de semillas y eficiencia de semillas. Los datos se analizaron mediante modelo lineal anidado, pruebas de comparación (Duncan, $p=0,05$) y correlación de Pearson. Los fenotipos selectos procedentes de SN mostraron mayor potencial (117) y eficiencia reproductiva de semillas (46,4) que los fenotipos de SS; la mayor proporción de escamas fértiles (0,53 vs. 0,52) se encontró para conos colectados en localidades de San Juan Luvina (SN) y San Pedro el Alto (SS). Existen correlaciones significativas ($\alpha=0,05$) bajas entre características morfológicas de conos y semillas con las características climáticas de los sitios.

Introducción

La actividad forestal maderable en México se basa principalmente en el género *Pinus* (Parra *et al.*, 2016). Sin embargo, factores como el cambio de

uso de suelo, la tala inmoderada y el crecimiento demográfico ocasionan la destrucción del bosque (Ochoa *et al.*, 2013). México presenta una destrucción media entre 250.000 y 260.000 ha/año y ya desde los

años 1970's se ha sugerido implementar plantaciones forestales con fines comerciales como programas de restauración y comercialización. Para lo anterior es necesario asegurar el abastecimiento de semillas de

calidad, donde se requiere conocer la variación de la especie y la de selección de árboles superiores, y en éstos realizar el análisis de la producción de semillas por cono y la eficiencia de producción de semillas

PALABRAS CLAVE / Conos / Eficiencia Reproductiva / Producción de Semillas / Regiones Geográficas / Selección de Fenotipos /

Recibido: 21/03/2023. Modificado: 26/01/2024. Aceptado: 30/01/2024.

Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez. Doctor en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Profesor, Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca México.

Gerardo Rodríguez-Ortiz (Autor de correspondencia). Doctor en Ciencias en Productividad

Forestal. Colegio de Postgraduados (COLPOS). México. Profesor-investigador, Tecnológico Nacional de México (TecNM), Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Dirección: Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca México. C.P. 71233. e-mail: gerardo.rodriguez@voaxaca.tecnm.mx.

José Raymundo Enríquez-del Valle. Doctor en Genética

Vegetal, Especialista en Biotecnología, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, COLPOS, México. Profesor-investigador, TecNM-ITVO, México.

Adán Hernández-Hernández. M.C. en Manejo de Recursos Naturales, University of New Hampshire, EEUU. Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,

Agrícolas y Pecuarias, México.

Gisela Virginia Campos-Angeles. Doctora en Ciencias en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Profesora-investigadora, TecNM-ITVO, México.

Vicente Arturo Velasco-Velasco. Doctor en Edafología y Nutrición Vegetal, COLPOS, México. Profesor-investigador, TecNM-ITVO, México.

REPRODUCTIVE EFFICIENCY OF SELECTED PHENOTYPES OF *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock

Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez, Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Gisela Virginia Campos-Angeles and Vicente Arturo Velasco-Velasco

SUMMARY

The cones and seeds collect in selected forest trees requires determining the quantity and quality of the seeds for their use in commercial forest plantations or reforestation. The objective of this research was to evaluate the reproductive efficiency of cones and seeds of 47 *Pinus patula* var. *longepedunculata* trees from several locations in Oaxaca, Mexico. The cones were collected in 2018 from selected trees from different locations in Sierra Sur (SS) and Sierra Norte (SN) of Oaxaca. In 2019 the seeds were measured and weighed separately by tree and origin, and evaluated reproductive indicators in cones such as:

proportion of fertile scales, seed potential and seed efficiency. Data were analyzed using a nested linear model, comparison tests (Duncan, $p=0.05$) and Pearson's correlation. The select phenotypes from SN showed higher potential and seed reproductive efficiency than the SS phenotypes (117 vs 46,4); the highest proportion of fertile scales (0.53 vs. 0.52) was found for cones collected in localities of San Juan Luvina (SN) and San Pedro el Alto (SS). There are significant low correlations ($\alpha=0.05$) between morphological characteristics of cones and seeds with the climatic characteristics of the sites.

EFICIÊNCIA REPRODUTIVA DE FENÓTIPOS SUPERIORES DE *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock

Marcos Emilio Rodríguez-Vásquez, Gerardo Rodríguez-Ortiz, José Raymundo Enríquez-del Valle, Adán Hernández-Hernández, Gisela Virginia Campos-Angeles e Vicente Arturo Velasco-Velasco

RESUMO

A coleta de cones e sementes de árvores florestais selecionadas requer a determinação da quantidade e da qualidade das sementes para uso em plantações florestais comerciais ou reflorestamentos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência reprodutiva de cones e sementes de 47 árvores de *Pinus patula* var. *longepedunculata* de várias localidades em Oaxaca, México. Os cones foram coletados em 2018 de árvores selecionadas de diferentes localidades da Sierra Sur (SS) e Sierra Norte (SN) de Oaxaca. Em 2019, as sementes foram medidas e pesadas separadamente por árvore e procedência, e indicadores reprodutivos como: proporção de escamas férteis, potencial de semen-

tes e eficiência de sementes foram avaliados nos cones. Os dados foram analisados usando um modelo linear aninhado, testes de comparação (Duncan, $p=0,05$) e correlação de Pearson. Os fenótipos selecionados de SN apresentaram maior potencial de sementes (117) e eficiência reprodutiva de sementes (46,4) do que os fenótipos de SS; a maior proporção de escamas férteis (0,53 vs. 0,52) foi encontrada para cones coletados nas localidades de San Juan Luvina (SN) e San Pedro el Alto (SS). Há correlações pouco significativas ($\alpha=0,05$) entre as características morfológicas dos cones e das sementes com as características climáticas dos locais.

para sitio/árbol (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016; Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2020).

El crecimiento y desarrollo de los árboles depende de factores ambientales y biológicos (García-Aguilar *et al.*, 2017), más la interacción entre cada individuo de una población y el ambiente. Las variaciones ambientales afectan la formación de estróbilos masculinos para la producción de polen, estructuras femeninas y conos, en donde desarrollan las semillas (Mendoza-Hernández *et al.*, 2018). Se han realizado trabajos de selección de árboles sobresalientes en poblaciones naturales. Estos trabajos han demostrado la existencia de variación fenotípica en el

desempeño de los árboles, lo cual resulta de las variaciones fenotípicas entre los individuos en los ambientes en que se establecen (Chávez-García *et al.*, 2022).

La eficiencia reproductiva en la producción de semillas permite determinar la cantidad y calidad de semillas en una cosecha de conos (Martínez *et al.*, 2020), siendo de utilidad en el mejoramiento genético o seguimiento en la producción de semillas (Mendoza-Hernández *et al.*, 2018). Además, se determina la capacidad de los bosques para asegurar su regeneración, relacionar la producción de semilla con la edad del arbolado, así como determinar la producción de semillas en un

sitio determinado (Capilla-Dinorin *et al.*, 2021).

Por otro lado, la eficiencia en la producción de semillas determina la proporción de las semillas que alcanzan su pleno desarrollo, son llenas y las semillas potenciales que puede un cono producir; es decir, mide la relación entre la productividad del cono y su capacidad biológica. Por lo anterior, se considera de los principales indicadores en la producción de semilla (Morales-Velázquez *et al.*, 2010).

El mejoramiento genético aprovecha el conocimiento de la variabilidad genética de especies y poblaciones y de la capacidad para transferir ciertas características a su descendencia (Escobar-Sandoval *et*

al., 2018). Pero para tal fin debe haber abastecimiento de semilla de individuos de los que se ha demostrado su superioridad genética. El uso de semilla de buena calidad genética permite el establecimiento de plantaciones de árboles superiores (Droppelmann, 2012).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia reproductiva de conos y semillas de 47 árboles de *Pinus patula* var. *longepedunculata* de varias localidades de Oaxaca, México. La hipótesis es que la mayor eficiencia reproductiva de semillas se presentará en fenotipos superiores de localidades de Sierra Norte, debido a que presentan mejores condiciones de clima que localidades de la Sierra Sur.

Materiales y Métodos

Ubicación de los fenotipos selectos

Para seleccionar los árboles superiores se utilizó la metodología de árboles por comparación, en donde se confrontan las características del árbol candidato a ser superior con los árboles vecinos más cercanos. Se tomaron como árboles candidato aquellos con las características siguientes: árboles dominantes, fuste recto, no bifurcado ni torcido, copa redonda, tamaño de la copa menor o igual a 1/3 de la longitud total del árbol, inserción de las ramas con el fuste lo más cercano a un ángulo de 90°, diámetro mayor al promedio de los árboles testigo, altura de fuste limpio superior al de los testigos, árboles sanos, libre de plagas y enfermedades (Muñoz *et al.*, 2013).

Se seleccionaron 15 árboles pertenecientes a localidades de Sierra Norte (SN) y 32 árboles de localidades de Sierra Sur (SS) del estado de Oaxaca. En 2018 se recolectaron conos maduros, los que se identificaron y almacenaron en costales y se trasladaron al Campo experimental de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP-Oaxaca.

Indicadores de eficiencia reproductiva

Los conos y semillas se analizaron mediante la metodología de Bramlett *et al.*

(1977), modificada de acuerdo a este estudio, donde se tomaron las siguientes características: longitud de cono, en una línea recta entre los extremos basal y distal del cono; ancho del cono, con un valor promedio de dos mediciones perpendiculares en la parte más gruesa del cono, utilizando un vernier Calibrador Digital Powerbuilt $\pm 0,1\text{mm}$. Número de escamas, que se contabilizaron el total de ellas, excepto las más pequeñas en la base del cono (indiferenciadas) y la cantidad de escamas fértiles, que se contabilizaron en la parte central del cono.

Posteriormente, los conos se secaron exponiéndolos a radiación solar directa para agilizar la apertura de escamas, las semillas fueron liberadas, aunque en algunos casos fue necesario golpear los conos contra una superficie firme para extraer semillas. Después de obtener las semillas, éstas se contabilizaron y se eliminó manualmente el ala (separar la semilla de su ala).

Se obtuvieron datos de: potencial de semilla, basado en el número de escamas fértiles multiplicando por dos óvulos por escama; eficiencia de producción de semilla, basado en el número de semillas por cono dividido entre el potencial de semilla y multiplicado por 100; proporción de escamas fértiles como el número de escamas fértiles entre escamas totales; coeficiente de forma de la semilla como la

división del diámetro ecuatorial entre el diámetro polar de las semillas; el peso total de semillas por árbol/cono y peso por semilla, obtenido con una balanza analítica marca Shimadzu, modelo ATY224 $\pm 0,1\text{mg}$.

Manejo y análisis de datos

Se verificaron supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk y Bartlett, $\alpha= 0,05$) entre localidades; potencial y eficiencia de semillas se transformaron a $\log\sqrt{x}$ para el resto de variables que no se ajustaron se transformaron a \sqrt{x} . Se realizó análisis de varianza bajo modelo lineal mixto anidando localidades en región y árboles en localidades y prueba de medias (Duncan, 0,05) para diferenciar regiones y localidades (1).

$$y_{ijk} = \mu + R_i + (P_j)R_i + (A_k)P_j + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

donde:

- y_{ijk} = variable respuesta,
- μ = media general,
- R_i = región,
- P_j = localidad,
- A_k = árbol selecto,
- ε_{ijk} = error aleatorio.

Se realizó análisis de correlación (Pearson, $\alpha= 0,05$) entre las características de conos-semillas y variables ambientales de los sitios obtenidas del World Climate (2020). Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute Inc., 2014).

Resultados y Discusión

Eficiencia reproductiva

Los análisis de varianza mostraron que existieron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre regiones en todas las características reproductivas de conos y semillas evaluadas. De igual forma, las localidades anidadas en región mostraron efectos altamente significativos, al igual que los árboles anidados en localidad.

Las semillas y conos de *P. patula* recolectadas de los diversos progenitores se caracterizan por tener variabilidad en su coeficiente de forma (CF); es decir, formas alargadas representan valores que se alejan de la unidad y formas esféricas representan valores cercanos a uno; al igual, se encuentran formas irregulares; estas características fueron descritas por Lovey *et al.* (2010).

Las semillas provenientes de la SN fueron más esféricas (0,37) con respecto a SS (0,34) (Tabla I), resultados que concuerdan con los coeficientes de forma por localidad. Esta variación se debe al ambiente, genética y su interacción en donde se encuentran nutrientes, luz, sombra, temperatura y humedad (Miniño *et al.*, 2014). Las semillas recolectadas de Teococuilco de Marcos Pérez tuvieron forma menos alargada con $CF=0,39 \pm 0,001$, valor que fue estadísticamente diferente ($p= 0,0001$) a los CF que tuvieron las semillas recolectadas de San Juan Luvina y San Pedro Leapi, que fueron más

TABLA I
INDICADORES DE CONOS Y SEMILLAS DE ÁRBOLES SELECTOS DE *Pinus patula* var. *longepedunculata* POR REGIÓN

Variable	Sierra Norte	Sierra Sur	Variable	Sierra Norte	Sierra Sur
Ctotal	47,64 $\pm 0,25$ b	60,09 $\pm 0,26$ a	TSE	51,21 $\pm 0,22$ a	37,88 $\pm 0,18$ b
CFC	0,39 $\pm 0,0004$ b	0,39 $\pm 0,0004$ a	TSEAR	1269 $\pm 7,08$ a	102 $\pm 5,30$ b
CFS	0,37 $\pm 0,001$ a	0,34 $\pm 0,0007$ b	PSEAR (g)	14,46 $\pm 0,08$ b	15,16 $\pm 0,09$ a
Pseco (g)	19,09 $\pm 0,07$ a	14,42 $\pm 0,04$ b	PSE (g)	0,006 $\pm 0,00001$ b	0,007 $\pm 0,00002$ a
Nesca	119,11 $\pm 0,15$ a	105,73 $\pm 0,13$ b	SEMKG	160505 ± 377 a	145436 ± 8703 b

Ctotal: conos totales por árbol, CFC: coeficiente de forma de cono, CFS: Coeficiente de forma de semilla, Pseco: peso seco de cono, Nesca: número de escamas por cono, TSE: total de semillas por cono, TSEAR: total de semillas por árbol, PSEAR: peso de semillas por árbol, PSE: peso por semilla, SEMKG: número de semillas por kilogramo. Letras distintas en hilera por región representan diferencias significativas (Duncan, 0,05). La media se incluye \pm el error estándar.

alargadas (Tabla II). Esto concuerda con Lovey *et al.* (2010) y Muñoz-Flores *et al.* (2023) que indican que las semillas adoptan formas variables.

También, las semillas recolectadas de los diversos árboles presentaron diferencias ($p=0,0001$) en su diámetro ecuatorial, pues las semillas recolectadas de las localidades de Santa María Jaltianguis e Ixtlán de Juárez midieron $1,79 \pm 0,008$ y $1,48 \pm 0,01$ mm, respectivamente, magnitudes significativamente diferentes (Duncan, 0,05) (Tabla I).

Estas características son similares a las reportadas por Miniño *et al.* (2014) con semillas de 1 a 2mm de largo en *Pinus occidentalis* Swartz. El tamaño de la semilla, tiene efecto en su eficiencia germinativa, la supervivencia de la plántula y el desarrollo posterior del árbol joven (Huerta-Paniagua y Rodríguez-Trejo, 2011).

La relación entre conos y semillas es primordial, ya que conos grandes producen semillas de gran tamaño y posteriormente plantas más vigorosas (Quiroz *et al.*, 2017); sin embargo, la localidad de Teococuilco presentó en promedio 56 semillas/cono,

valores inferiores con los reportados por Capilla-Dinorin *et al.* (2021) para *P. chiapensis* (Martínez) Andresen con 89 y superiores a los reportados por Pérez y Geada (2020) con 45 para *Pinus tropicalis* Morelet en 2016, Morales-Hernández *et al.* (2022) para *Pinus martinezii* Larsen con un promedio de 50 y Hernández-Hernández *et al.* (2019) con 44 semillas por cono para *Pinus patula* var. *longipedunculata* procedentes de Teococuilco de Marcos Pérez; todas las localidades mostraron un coeficiente de forma del cono de 0,39 a excepción de las localidades San Juan Luvina (SN) y San Pedro Leapi (SS) con 0,36 y 0,40 respectivamente. Esta variabilidad entre regiones puede deberse a las condiciones ambientales (luz, sombra, temperatura, humedad, altitud, posición en el fruto). Aparicio-Rentería *et al.* (2020) resaltan que esta diferenciación morfológica en conos y semillas tiene efecto con la altitud.

Las localidades de San Juan Luvina (SN) y San Pedro el Alto (SS) presentaron una mayor proporción de escamas fértiles con valores de 0,53 y 0,52 respectivamente (Tabla II), sin embargo, valores bajos

concordando con Flores-López *et al.* (2005) para *Picea mexicana* Martínez quienes obtuvieron un número de escamas fértiles por población de 25,6 y 42,7.

La semilla procedente de la región SN mostró mayor potencial de semilla (117) con respecto a las provenientes de SS (110); de igual forma, la eficiencia de semillas fue mayor para los conos de SN (46,39) en relación a SS (34,97) (Figura 1a). De acuerdo con Salzer y Gugerli (2012), estas diferencias se pueden atribuir a factores específicos de cada región con relación a las características genéticas, calidad del sitio y condiciones climáticas: temperatura media anual ($11,1^{\circ}\text{C} - 15,1^{\circ}\text{C}$) y precipitación media anual (979mm – 2150mm).

Por otro lado, el potencial de semilla de las localidades de SN: San Juan Luvina y Santa María Jaltianguis fue estadísticamente superior (129,5) al resto de las localidades. En el mismo sentido, los conos recolectados en Teococuilco de Marcos Pérez (SN) mostraron la mayor eficiencia de semillas (51), encontrando el valor más bajo en la comunidad de San Pedro Leapi (28) (Figura 1b).

Estos resultados son mayores a los encontrados por Mendizábal-Hernández *et al.* (2015) con 40,97 para *Pinus chiapensis* (Martínez). La eficiencia reproductiva es un indicador de la energía del árbol y determina la producción de semilla, en relación al peso y número de semillas (Castilleja *et al.*, 2016).

Correlación entre indicadores reproductivos y variables climáticas

Los coeficientes de correlación entre las diversas variables morfológicas de conos-semillas y variables climáticas presentaron valores bajos, pero estadísticamente significativos ($p \leq 0,05$), en concordancia a lo reportado por Martínez *et al.* (2020). Esto es debido a la gran variabilidad que presentan estos conos y semillas; la mayoría de especies no producen año con año cantidades homogéneas de semillas; además, de variar significativamente cada año entre los mismos árboles, esta se puede correlacionar con algunos factores climáticos y de la madurez del árbol (Martínez *et al.*, 2020).

Se encontraron correlaciones altas entre la precipitación

TABLA II
INDICADORES DE CONOS Y SEMILLAS DE ÁRBOLES SELECTOS DE *Pinus patula* var. *longipedunculata* POR LOCALIDAD

	Ixtlán de Juárez	Santa María Jaltianguis	San Juan Luvina	Teococuilco de Marcos Pérez	San Pedro Leapi	San Pedro el Alto
Ctotal	36,31 \pm 0,29 d	61,69 \pm 0,77 b	23,16 \pm 0,86 f	47,41 \pm 0,20 c	35,27 \pm 0,47 e	63,09 \pm 0,28 a
CFC	0,39 \pm 0,001 d	0,39 \pm 0,0009 b	0,36 \pm 0,001 e	0,39 \pm 0,0005 c	0,40 \pm 0,001 a	0,39 \pm 0,0004b
CFS	0,32 \pm 0,002d	0,37 \pm 0,001b	0,31 \pm 0,0001e	0,39 \pm 0,001a	0,31 \pm 0,002 de	0,34 \pm 0,0007 c
Pseco (g)	22,36 \pm 0,19 c	24,14 \pm 0,17 a	22,78 \pm 0,29b	15,77 \pm 0,04e	16,03 \pm 0,12d	14,22 \pm 0,04f
Nesca	115,11 \pm 0,51 c	128,26 \pm 0,28 a	123,74 \pm 0,71b	115,55 \pm 0,17 c	103,89 \pm 0,40 e	105,95 \pm 0,14 d
Efert	50,49 \pm 0,37 d	64,81 \pm 0,34 a	65,30 \pm 0,71a	56,82 \pm 0,21 b	50,26 \pm 0,34 d	55,63 \pm 0,13 c
Proes	0,44 \pm 0,002 e	0,50 \pm 0,002 b	0,53 \pm 0,005 a	0,49 \pm 0,001 c	0,48 \pm 0,002 d	0,52 \pm 0,001 a
TSE	48,15 \pm 0,65 b	41,01 \pm 0,28 c	54,94 \pm 1,10 a	55,67 \pm 0,29 a	26,49 \pm 0,35 e	39,26 \pm 0,19 d
TSEAR	596 \pm 6,11 d	1704 \pm 16,22 a	261 \pm 2,86 f	1365 \pm 6,84 b	390 \pm 2,70 e	1098 \pm 5,53 c
PSEAR (g)	6,53 \pm 0,02 d	16,94 \pm 0,17 a	2,94 \pm 0,06 f	16,66 \pm 0,09 b	5,24 \pm 0,08 e	16,35 \pm 0,10 c
SEMKG	175196 \pm 1202,23 a	152700 \pm 844,49 c	146983 \pm 1376,14 d	162284 \pm 447,83 b	121776 \pm 955,85 e	148296 \pm 965,75 cd

Ctotal: conos totales por árbol, CFC: coeficiente de forma de cono, CFS: Coeficiente de forma de semilla, Pseco: peso seco de cono, Nesca: número de escamas por cono, Efert: escamas fértiles por cono, Proes: proporción de escamas fértiles, TSE: total de semillas por cono, TSEAR: total de semillas por árbol, PSEAR: peso de semillas por árbol, SEMKG: número de semillas por kilogramo. Letras distintas en hilera por localidad representan diferencias significativas (Duncan, 0,05). La media se incluye \pm el error estándar.

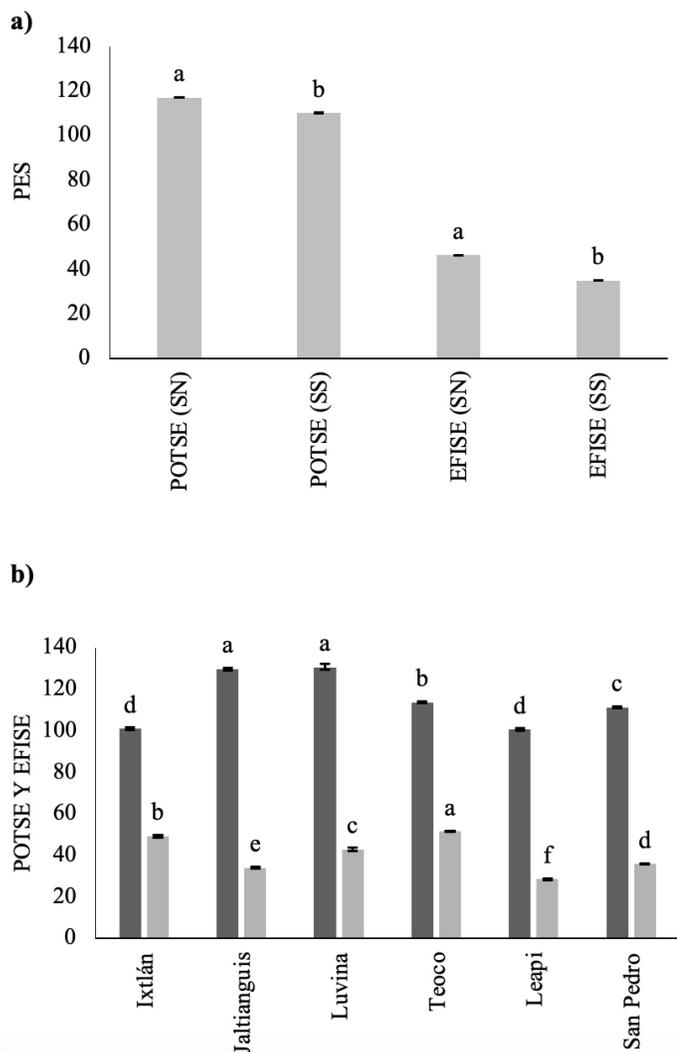


Figura 1. Potencial y eficiencia de producción de semillas (PES) por región (a) y localidades (b). Ixtlán: Ixtlán de Juárez, Jaltianguis: Santa María Jaltianguis, Luvina: San Juan Luvina, Teoco: Teococuilco de Marcos Pérez, Leapi: San Pedro Leapi, San Pedro: San Pedro el Alto, SN: Sierra Norte, SS: Sierra Sur. Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar y letras distintas en barras por variable representan diferencias significativas (Duncan, 0,05).

media anual del sitio y el peso seco del cono ($r=0,51$) y número de escamas por cono ($r=0,35$); la temperatura mínima en los meses más fríos mostró correlación negativa con el peso seco de los conos ($r=-0,44$) y con el peso de semillas por árbol ($r=0,34$). Por otro lado, la temperatura máxima en los meses más cálidos presentó correlación negativa con el peso de semillas por árbol ($r=-0,42$) y el peso seco de conos ($r=-0,36$).

Valores bajos de temperatura media en los meses más fríos se asocian con valores altos en el peso seco por cono ($r=-0,47$) y valores bajos en peso de semillas por árbol ($r=0,34$). Por otro lado, la temperatura media en los meses más cálidos presentó mayor relación con el peso de semillas por árbol ($r=0,42$ y $r=0,35$ respectivamente); además, de una relación negativa con el peso seco de cono ($r=-0,37$), lo

anterior se puede deber a la relación que existe entre la temperatura y humedad y su relación con los requerimientos para germinar.

En la reproducción de *Pinus patula* influyen factores como la producción de estróbilos masculinos y femeninos (Ochoa *et al.*, 2013), la temperatura, precipitación y la altitud (Parra *et al.*, 2016); la maduración de estróbilos masculinos y femeninos en un huerto semillero de *Pinus patula* Schl. et Cham fue mayor en temperaturas altas (Hernández *et al.*, 2016); es decir, se favorece el desarrollo de estróbilos y la polinización en temperaturas superiores a 20°C con conos y semillas más pesadas.

Conclusiones

Los fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longepedunculata* procedentes de la región Sierra Norte (SN) de Oaxaca, México presentaron mayor potencial y eficiencia de producción de semillas que los de la región Sierra Sur; por otro lado, las localidades de la SN (Teococuilco de Marcos Pérez y San Juan Luvina) mostraron semillas más esféricas y grandes y con mayor potencial que el resto de las localidades. Los árboles selectos de estas dos localidades presentaron los mejores indicadores reproductivos; lo cual comprueba la hipótesis de que estos indicadores se asocian con la temperatura media anual y precipitación, características menos severas presentes en la región SN.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue financiado con el apoyo del Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, CONAFOR-CONACYT, a través del proyecto CONAFOR-2017-2-291322 “Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de *Pinus patula* para la valoración genética de los progenitores”.

REFERENCIAS

- Aparicio-Rentería A, Viveros-Viveros H, Hernández-Villa J, Sáenz-Romero C, Ruiz-Montiel C, Pineda JA (2020) Zonificación altitudinal de *Pinus patula* a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 26: e2621962. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621962>
- Bramlett DL, Belcher EW, DeBarr GL, Hertel JL, Karrfalt RP, Lantz CW, Miller T, Ware KD, Yates HO (1977) *Cone analysis of southern pines: a guidebook*. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA For. Ser. Ashville, NC. 32 pp.
- Capilla-Dinorin E, López-Upton J, Jiménez-Casas M, Rebolledo-Camacho V (2021) Características reproductivas y calidad de semilla en poblaciones fragmentadas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44: 211-219.
- Castilleja SP, Delgado VP, Sáenz-Romero C, Herreras DY (2016) Reproductive success and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, two endemic Mexican pines under threat. *Forests* 7: 1-17. <https://doi.org/10.3390/f7080178>
- Chávez-García AS, Hernández-Ramos J, Muñoz-Flores HJ, García-Magaña JJ, Gómez-Cardenas M, Gutiérrez-Contreras M (2022) Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero. *Madera y Bosques* 28: e2812381. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812381>
- Droppelmann F (2012) *Inicio de un programa de mejoramiento genético forestal*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 20 pp.
- Escobar-Sandoval MC, Vargas-Hernández J, López-Upton J, Espinosa-Zaragoza S, Borja-de la Rosa A (2018) Parámetros genéticos de calidad de madera, crecimiento y ramificación en *Pinus patula*. *Madera y Bosques* 24: e2421595. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421595>
- Flores-López C, López-Upton J, Vargas-Hernández JJ (2005) Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39: 117-126.
- García-Aguilar JÁ, Velasco-Velasco VA, Rodríguez-Ortiz G,

- Enríquez-del Valle JR (2017) Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 23. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i4.108>
- Hernández ZO, López UJ, Vargas HJJ, Jiménez CM (2016) Variación clonal de la fenología reproductiva en un huerto semillero de *Pinus patula*. *Bosque* 37: 255-264. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200004>
- Hernández-Hernández A, Reyes-Reyes MA, Rodríguez-Ortiz G, Enríquez-del Valle JR, Gómez-Cárdenas M, Velasco-Velasco VA (2019) Conos y semillas de fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* de procedencias de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 6: 157-167.
- Huerta-Paniagua R, Rodríguez-Trejo DA (2011) Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación de *Quercus rugosa* Née. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 179-187. <https://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.053>
- Lovey RJ, Perissé P, Vieyra C, Coraglio JC (2010) Caracterización de semilla, germinación y plántula de *Cologania broussonetii* (Balb.) DC. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 79: 5-10.
- Martínez RJA, Cruz CF, Gurrola AJG, Nájera LJA (2020) Potencial productivo de conos y semillas de dos especies del género *Pinus*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11: 26-46. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.592>
- Mendizábal-Hernández LC, Alba-Landa J, Hernández JL, Ramírez-García EO, Rodríguez-Juárez MC (2015) Potencial de producción de semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Foresta Veracruzana* 17: 47-52.
- Mendoza-Hernández NB, Ramírez-Herrera C, López-Upton J, Reyes-Hernández V, López PA (2018) Variación de características reproductivas de árboles de *Pinus patula* en un huerto semillero sexual. *Agrociencia* 52: 279-291.
- Miniño MVA, Rodríguez de FLE, Perdonó OP, León Y, Paulino L (2014) Caracterización de la morfología de la semilla de *Pinus occidentalis* Swartz. *Ciencia y Sociedad* 39: 777-801. <https://doi.org/10.22206/CYS.2014.V39I4.PP777-801>
- Morales-Hernández J, Gómez-Romero M, Sánchez-Vargas NM, Velázquez-Becerra C, Cruz-de-León J, Ambríz E (2022) Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México. *Bosque* 43: 221-229. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002022000300221>
- Morales-Velázquez MG, Ramírez-Mandujano CA, Delgado-Valerio P, López-Upton J (2010) Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la Cuenca del Río Angula, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 31-38.
- Muñoz FHJ, Prieto RJA, Flores GA, Alarcón BM, Sáenz RJT (2013) Selección de árboles superiores del género *Pinus*. *INIFAP* 69: 59 pp. https://www.researchgate.net/publication/325578946_Selection_de_arboles_superiores_del_genero_pinus (Cons. 16/02/2022).
- Muñoz-Flores HJ, Sáenz-Reyes JT, Gómez-Cárdenas M, Hernández-Ramos J, Barrera-Ramírez R (2023) Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria* 33: e3549. <https://doi.org/10.15174.au.2023.3549>
- Ochoa HMC, Márquez RJ, Mendizábal-Hernández LC, Cruz-Jiménez H, Alba-Landa J, Ramírez-García EO (2013) Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. de una prueba de progenies en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 15: 37-44.
- Parra SG, Cruz-Jiménez H, Márquez J, Aparicio A, Pedraza RA (2016) Producción de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. en una prueba de progenie de nueve años en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 18: 45-52.
- Pérez RCM, Geada LG (2020) Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus tropicalis* Morelet en un huerto semillero. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 8: 129-137.
- Quiroz VRI, López UJ, Cetina AVM, Ángeles PG (2017) Capacidad reproductiva de *Pinus pinceana* Gordon en el límite de sur de su distribución natural. *Agrociencia* 51: 91-104.
- Rodríguez-Ortiz G, Aragón-Peralta RD, Enríquez-del Valle JR, Hernández-Hernández A, Santiago-García W, Campos-Angelès GV (2020) Calidad de plántula de progenies selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* del sur de México. *Interciencia* 45: 96-101.
- Salzer K, Gugerli F (2012) Reduced fitness at early life stages in peripheral versus core populations of Swiss stone pine (*Pinus cembra*) is not reflected by levels of inbreeding in seed families. *Alpine Botany* 122: 75-85. <https://doi.org/10.1007/s00035-012-0106-z>
- SAS Institute Inc. (2014) *Programming with Base SAS® 9.4*. Second Edition. SAS Institute. Cary, NC. EE.UU. 900 pp.
- Villegas-Jiménez DE, Rodríguez-Ortiz G, Chávez-Servia JL, Enríquez-del-Valle JR, Carrillo-Rodríguez JC (2016) Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Bot.* 73: 113-123.
- World Climate (2020) *Research on Forest Climate Change: Predicted Effects of Global Warming on Forests and Plant Climate Relationships in Western North America and Mexico*. <https://charcoal2.cnre.vt.edu/climate/> (Cons. 10/02/2021).