

# CARACTERES MORFOMÉTRICOS Y PATRONES DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus* *pseudostrobus* Lindl. DE DIFERENTES PROCEDENCIAS

## MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION PATTERNS OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. SEEDS FROM DIFFERENT SOURCES

Madrigal González, D., N. Modesto Sánchez-Vargas, M. Gómez-Romero, M.D. Uribe-Salas, A. Martínez-Palacios, S. Ramos-Ortiz

CARACTERES MORFOMÉTRICOS Y PATRONES DE GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. DE DIFERENTES PROCEDENCIAS

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND GERMINATION PATTERNS OF *Pinus pseudostrobus* Lindl. SEEDS FROM DIFFERENT SOURCES



**Caracteres morfométricos y patrones de germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de diferentes procedencias**

**Morphometric characteristics and germination patterns of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seeds from different sources**

Daniel Madrigal González,  
Nahum Modesto Sánchez-  
Vargas, Mariela Gómez-  
Romero, María Dolores Uribe-  
Salas, Alejandro Martínez-  
Palacios, Selene Ramos-Ortiz

CARACTERES  
MORFOMÉTRICOS Y  
PATRONES DE  
GERMINACIÓN DE  
SEMILLAS DE *Pinus*  
*pseudostrobus* Lindl. DE  
DIFERENTES  
PROCEDENCIAS

MORPHOMETRIC  
CHARACTERISTICS AND  
GERMINATION PATTERNS  
OF *Pinus pseudostrobus* Lindl.  
SEEDS FROM DIFFERENT  
SOURCES

POLIBOTÁNICA

Instituto Politécnico Nacional

Núm. 61: 165-179. Enero 2026

DOI:  
10.18387/polibotanica.61.9

**Daniel Madrigal-González** <https://orcid.org/0000-0001-9368-2319>  
**Nahum M. Sánchez Vargas** <https://orcid.org/0000-0003-3505-2778>  
**María Dolores Uribe Salas** <https://orcid.org/0000-0002-4788-0290>  
**Alejandro Martínez-Palacios** <https://orcid.org/0000-0002-5197-8629>

*Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales,  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Tarímbaro, Michoacán, México*

**Mariela Gómez-Romero** <http://orcid.org/0000-0003-4511-3001>

*SECIHTI-Facultad de Biología,  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Morelia, Michoacán, México*

**Selene Ramos-Ortiz** / [selene.ramos@umich.mx](mailto:selene.ramos@umich.mx)   
<https://orcid.org/0000-0002-2171-9116>

*SECIHTI-Instituto de Investigaciones Agropecuarias y  
Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Tarímbaro, Michoacán, México*

**RESUMEN:** El estudio de las fuentes semilleras es crucial para la conservación y uso sostenible de especies forestales. El largo, ancho, grosor y peso de las semillas, son fundamentales para entender su comportamiento en la germinación y desarrollo de las plantas. Los árboles de *Pinus pseudostrobus*, se seleccionaron debido a la calidad de madera y crecimiento rápido. Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características morfométricas, comportamiento germinativo de semillas y variables ambientales de seis procedencias de *P. pseudostrobus* para identificar variaciones que puedan influir en su rendimiento y adaptabilidad. Se midieron y pesaron 100 semillas de seis procedencias diferentes y se obtuvieron variables ambientales de cada procedencia, las variables de semillas se compararon mediante un análisis de varianza y una prueba de Tukey-Kramer. Los resultados revelaron diferencias significativas en las características de las semillas, obteniéndose valores promedio de longitud (5.23 a 6.29 mm), ancho (3.34 a 4.04 mm), grosor (2.18 a 2.63 mm) y peso (0.010 a 0.031 g). Además, se observaron variaciones en los porcentajes de germinación (0 a 71%). El índice de velocidad de germinación también mostró diferencias entre las procedencias (2.02 a 2.98). Entre las variables ambientales se observaron fluctuaciones entre procedencias en altitud (2700 a 2780 msnm), precipitación media anual (800 a 1180 mm) y tipo de suelo (Cambisol, Andosol y Regosol). Se puede concluir que el índice de semilla obtenido representa el tamaño de las semillas y en general, las semillas con índices superiores germinaron en el período más largo, así mismo, las semillas más pequeñas provienen de los sitios más secos, lo que podría considerarse como una adaptación a las condiciones climáticas.

**Palabras clave:** pino, caracterización de semillas, plasticidad, adaptación, velocidad de germinación.

**ABSTRACT:** The study of seed sources is crucial for conserving and sustainably using forest species. Seed length, width, thickness, and weight are key for understanding germination behavior and plant growth. *Pinus pseudostrobus* trees are selected for their

wood quality and rapid growth. Therefore, this research aimed to examine the morphometric characteristics, seed germination behavior, and environmental factors of six *P. pseudostrobus* provenances to identify variations that may influence their yield and adaptability. One hundred seeds from each provenance were measured and weighed, and environmental variables were recorded for each. Seed traits were analyzed using analysis of variance and the Tukey-Kramer test. Results revealed significant differences in seed features, with average values for length (5.23 to 6.29 mm), width (3.34 to 4.04 mm), thickness (2.18 to 2.63 mm), and weight (0.010 to 0.031 g). Variations in germination percentages (0 to 71%) and germination rate index (2.02 to 2.98) were also observed among provenances. Among environmental factors, notable differences were found in altitude (2,700 to 2,780 meters above sea level), annual precipitation (800 to 1,180 mm), and soil types (Cambisol, Andosol, and Regosol). It can be concluded that the seed index reflects seed size, and generally, seeds with higher indices germinate faster. Additionally, the smallest seeds originate from the driest locations, which may indicate adaptation to local climate conditions.

**Key words:** pine, seed characterization, plasticity, adaptation, germination speed.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques templados prevalecen en todo en el hemisferio norte; en el Continente Americano, en México, se encuentra la distribución más sureña de este ecosistema con alrededor del 20% de la cobertura forestal del país (Rzedowski, 1978; Galicia *et al.*, 2018); parte de la importancia de este ecosistema, radica en que contiene la presencia de alrededor 46 especies, tres subespecies y 22 variedades del género *Pinus* L. que representan aproximadamente el 50% del total mundial (CONABIO, 2001; Sánchez-González, 2008; Gernardt & Pérez-de, 2014); además, la mayoría de estas especies son de importancia económica para la producción maderable, ya que representa el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Galicia *et al.*, 2018); por otra parte, en estos ecosistemas también se concentra la mayor parte de la población rural del país lo que ha sido un importante factor de cambio de uso del suelo en detrimento de los mismos (Bray *et al.*, 2007), que se ha traducido en la pérdida de una multitud de servicios ecosistémicos, que son vitales para la preservación del capital natural y la mejora del bienestar social en las diversas regiones forestales del país (Galicia *et al.*, 2018; Palacio-Prieto *et al.*, 2000).

*Pinus pseudostrobus* Lindl. es una conífera perteneciente a la familia Pinaceae, caracterizada por ser una especie forestal que se distribuye principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal (centro de México) (Sandoval-García *et al.*, 2020); sin embargo, también se pueden identificar poblaciones al norte en Sinaloa, Durango, Coahuila y Nuevo León, así como al sur en Chiapas y Oaxaca (Martínez, 1948); esta especie produce madera de alta calidad y el crecimiento es relativamente rápido, por lo que es altamente aprovechada en bosques naturales y tiene un alto potencial para el establecimiento de plantaciones comerciales (Eguiluz, 1978); se le puede encontrar formando bosques de pino o pino-encino en altitudes que oscilan entre 800 y 3000 msnm y debido a la adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, es utilizada en programas de restauración (Perry, 1991), la amplia distribución de la especie da como resultado una variabilidad considerable entre individuos y entre poblaciones, lo que puede resultar de la plasticidad que presenta la especie (Pedroso *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2012).

Las investigaciones taxonómicas han identificado variedades reconocidas de *P. pseudostrobus* las cuales son: *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus* (variedad típica), *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindl.) Shaw, y algunos autores también reconocen la var. *coatepecensis* (Martínez) Stead & Styles (Perry, 1991; García-Valencia *et al.*, 2022). Distintos autores documentaron variaciones importantes en las características de las semillas y el potencial reproductivo entre las variedades, además de adaptaciones específicas a diferentes gradientes altitudinales y condiciones climáticas, aspectos fundamentales para comprender su dinámica poblacional y establecer estrategias de manejo y conservación, considerando que representan recursos forestales estratégicos para México (Dvorak *et al.*, 2009; López-Toledo *et al.*, 2017).

Por lo tanto, la utilización comercial, la restauración y la conservación de las especies forestales, requieren estar sustentadas por diversos estudios; uno de los más importantes es la variación en semillas como un primer paso hacia la planeación y aprovechamiento del potencial de las especies (Muñoz *et al.*, 2012). Una forma de conocer el comportamiento de las especies es a través de procedencias, en las que se recolectan las semillas de una misma especie, pero en diferentes zonas geográficas con diferentes condiciones ecológicas, las plantas obtenidas de estas semillas se establecen en plantaciones, generalmente pequeñas, bajo un diseño experimental específico, lo que facilita comparar el rendimiento de cada fuente de semilla (Zobel y Talbert, 1988; Rodríguez *et al.*, 2012),

Para poder plantear estrategias dirigidas a la conservación y uso de una especie o población se debe conocer el comportamiento natural de las fuentes semilleras y la variabilidad presente entre ellas (Carmona *et al.*, 2003; Flores-López *et al.*, 2012). La conservación de las especies, poblaciones y ecosistemas forestales depende fundamentalmente de las semillas producidas por los individuos (Zobel & Talbert, 1988; Nienstaedt, 1990), además de las condiciones ambientales que se presentan en los sitios. La realización de estudios que consideren variables de las semillas, como la longitud, el ancho, el grosor, el peso y la germinación de cada una de las procedencias de una especie, es fundamental para identificar la relación del comportamiento germinativo respecto a las características morfométricas de las semillas (Alba-Landa *et al.*, 2007; Rodríguez-Laguna *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2023). Es esencial para comprender la importancia que las variables de la semilla pueden tener en la germinación y desarrollo de las plantas (Cervantes-Machuca *et al.*, 2023; Muñoz-Flores *et al.*, 2023), y así presentar alternativas que faciliten tener un panorama más claro al momento de seleccionar la semilla a sembrar (Eguiluz-Piedra, 1982; Aragón-Peralta *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2022). Bajo la hipótesis de que *P. pseudostrabus*, por ser una especie ampliamente distribuida en México, se ha adaptado a las condiciones ambientales en las que crece para sobrevivir, estas adaptaciones deben expresarse en cambios en estructuras como las semillas. En consecuencia, el objetivo de la presente investigación fue evaluar las características morfométricas, comportamiento germinativo de semillas y variables ambientales de seis procedencias de *P. pseudostrabus* para identificar variaciones que puedan influir en su rendimiento y adaptabilidad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se contó con semilla de seis procedencias distintas recolectadas en diciembre, 2016, las cuales fueron proporcionadas por el Colegio de Postgraduados, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, la Universidad Veracruzana y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; estas se mantuvieron separadas por procedencias y se almacenaron a una temperatura controlada de 4 °C desde su recolección hasta el inicio del experimento, asegurando la homogeneidad en su manejo y la comparabilidad de los resultados entre procedencias. Se implementó un protocolo estandarizado de almacenamiento, siguiendo las recomendaciones de Bonner *et al.* (2008). Se contó con tres procedencias de *P. pseudostrabus* var. *pseudostrabus*, dos de *P. pseudostrabus* var. *oaxacana* y una de *P. pseudostrabus* var. *coatepecensis* (Tabla 1). Se realizó una caracterización a nivel de tipo de suelo, tipo de vegetación y tipo de clima por procedencia, utilizando el software QGIS (2023) y la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI (2021) (Tabla 1) para tener la mayor cantidad de elementos ecológicos y climáticos que pudieran aportar a la explicación del comportamiento de las características morfológicas y germinativas.

**Tabla 1.** Localización geográfica y caracterización de tipo de clima, suelo y vegetación para las procedencias de estudio de *Pinus pseudostrabus* en México.**Table 1.** Geographical location and characterization of climate type, soil, and vegetation for the study provenances of *Pinus pseudostrabus* in Mexico.

Procedencia	Taxón	Coordenadas	Altitud msnm	Tipo de clima	Tipo de suelo	Tipo de vegetación	Precipitación media anual (mm)
Amecameca, Estado de México (P1)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>pseudostrabus</i>	19° 8'3.00"N 98°43'26.21"O	2740	Templado subhúmedo	Cambisol	Bosque pino-encino	800
Sta. Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>pseudostrabus</i>	19°50'59.16"N 100°39'2.30"O	2780	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque pino-encino	800
El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco (P3)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>pseudostrabus</i>	19°37'19.96"N 103°37'0.56"O	2730	Templado subhúmedo	Regosol	Bosque pino	800
La Gloria, Perote, Veracruz (P3)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°22'56.20"N 97°15'0.08"O	2700	Semifrío subhúmedo	Andosol	Bosque pino	1180
Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°31'37.62"N 97°13'39.75"O	2750	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque pino	800
Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6)	<i>P. pseudostrabus</i> var. <i>coatepecensis</i>	19°30'51.64"N 97° 3'53.96"O	2720	Templado húmedo	Andosol	Derivada bosque pino-encino	1000

En laboratorio se trabajó con cuatro muestras de 25 semillas por cada procedencia elegidas completamente al azar, teniendo en total 600 semillas. En las semillas, las variables evaluadas de manera individual fueron: longitud (mm), ancho (mm) y grosor (mm), obtenidas con un vernier digital (STREN HER-41  $\pm 0.1$  mm), además de índice de semillas (IS), velocidad y porcentaje de germinación. El peso (g) de cada una de las semillas se obtuvo con una balanza analítica marca OHAUS. Cada semilla fue separada en una bolsa de papel encerado y etiquetada para hacer un seguimiento individual.

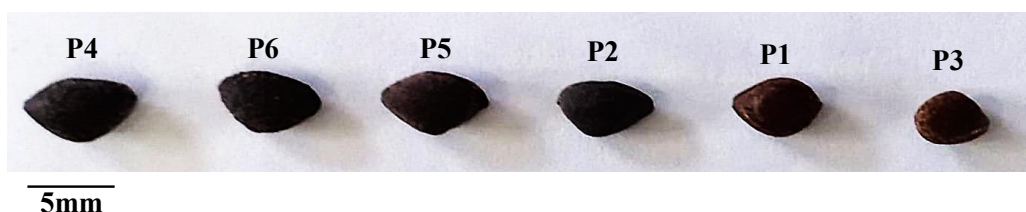
Posteriormente, las semillas fueron sembradas bajo un diseño completamente al azar en contenedores rígidos de plástico de 310 ml de capacidad, en un sustrato de agrolita, vermiculita y turba de musgo en proporción 1:1:2, dispuestos en charolas con 54 cavidades en condiciones de vivero. De acuerdo con Sáenz-Reyes *et al.* (2014) se aplicó un riego inicial de 200-300 ml por contenedor al momento de la siembra, manteniendo riegos posteriores cada 24 horas durante los primeros 15 días, ajustando la frecuencia según las condiciones ambientales. Cada contenedor se etiquetó con el número de semilla y procedencia para conservar la identidad. El experimento se llevó a cabo en el vivero José Ma. Morelos de la Comisión Forestal de Michoacán (COFOM), se cubrió con malla sombra de 35% de cobertura. La germinación se monitoreó desde la siembra hasta dejar de presentar cambios, llevando un registro diario de germinación de manera individual por semilla.

Se generó una base de datos con todas las características medidas. Los datos morfológicos de las semillas se analizaron mediante el análisis de varianza de una vía; para definir diferencias entre las procedencias, se compararon los valores de las medias por el método de Tukey-Kramer con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS (SAS Institut, 2019); adicionalmente, se obtuvo un índice de semilla que pudiera expresar, en un solo valor, el tamaño general de la semilla, multiplicando las variables longitud, ancho y grueso de semilla con la fórmula: índice de semilla = longitud de semilla  $\times$  ancho de semilla  $\times$  grueso de semilla (Hampton & TeKrony, 1995). Se consideró una semilla germinada aquella que presentó, al menos, un centímetro de radícula. Para analizar la trayectoria de la germinación entre las procedencias, se utilizó el estimador de Kaplan-Mier (Satten, 2001), un método no paramétrico utilizado para estimar la función de supervivencia a través del tiempo. Se realizó un análisis de supervivencia, adaptado a la germinación, con una distribución binomial, este procedimiento permite que la varianza binomial sea no-constante, asegura que las predicciones se mantengan en el rango 0-1 y produce estimaciones más precisas (Castañón-Malpica *et al.*, 2024). Se estimó el índice de velocidad de

germinación con la fórmula  $IVG = \sum[n_i/(\sum t_i)]$  donde:  $n_i$  es el número de semillas germinadas en el intervalo de tiempo  $t_i$  y  $\sum t_i$  es el período en días desde la siembra hasta el día final de la experimentación (Caroca *et al.*, 2016). La correlación de Pearson se realizó entre características morfométricas, porcentaje e índice de velocidad de germinación, e índice de semilla; para los análisis las variables morfométricas fueron estandarizadas con media cero y varianza uno, la germinación fue transformada a valores de arcoseno con la siguiente fórmula:  $Y = \arcseno(\text{raiz}(X/100)) \times (180/\pi)$  donde Y es el valor transformado, X es el porcentaje de germinación y  $\pi$  es el valor de pi (Durán-Mendoza *et al.*, 2025).

## RESULTADOS

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en todas las variables evaluadas ( $P < 0.001$ ), excepto en peso de semilla ( $P = 0.1118$ ). En la prueba de Tukey-Kramer ( $p = 0.05$ ), la procedencia que mostró los promedios más bajos en las variables morfométricas longitud de semilla (LS; 5.23 mm), ancho de semilla (AS; 3.34 mm), grueso de semilla (GS; 2.18 mm), peso de semilla (PS; 0.010 g) e índice de semilla (IS; 38.32) fue la localidad El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco (P3). La variable longitud de semilla (LS) no mostró diferencias significativas en La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6), que presentaron los valores más altos (6.29 mm y 6.19 mm, respectivamente), seguidas de Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5). Los mayores valores promedio de ancho de semilla (AS) los presentaron las semillas de Jeráhuaro (3.89 mm), La Gloria (4.04 mm) y Mesa del Laurel (3.95 mm), seguidas de Amecameca y Francisco I. Madero. El grueso de semilla (GS) tuvo mayor variación entre procedencias, presentó el mayor valor en La Gloria (2.63 mm), seguido por Mesa del Laurel; Amecameca y Francisco I. Madero no mostraron diferencias, así como Jeráhuaro y El Floripondio. Finalmente, el peso de semilla (PS) de Mesa del Laurel fue el más alto (0.031 g), sin embargo, no fue significativamente diferente de Francisco I. Madero, La Gloria, Amecameca y Jeráhuaro (Tabla 2, Figura 1). El análisis del índice de semilla (IS) permitió distinguir cuatro grupos diferentes, el valor más alto lo presentó La Gloria (P4), seguida de Mesa del Laurel (P6); Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5) conformaron otro grupo distinto con valores intermedios y finalmente El Floripondio conformó el último grupo con los valores más bajos (Tabla 2).



**Figura 1.** Representación de la variación en el tamaño de semillas de *P. pseudostrobus* provenientes de las seis procedencias: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5) y Mesa del laurel, Coatepec, Veracruz (P6).

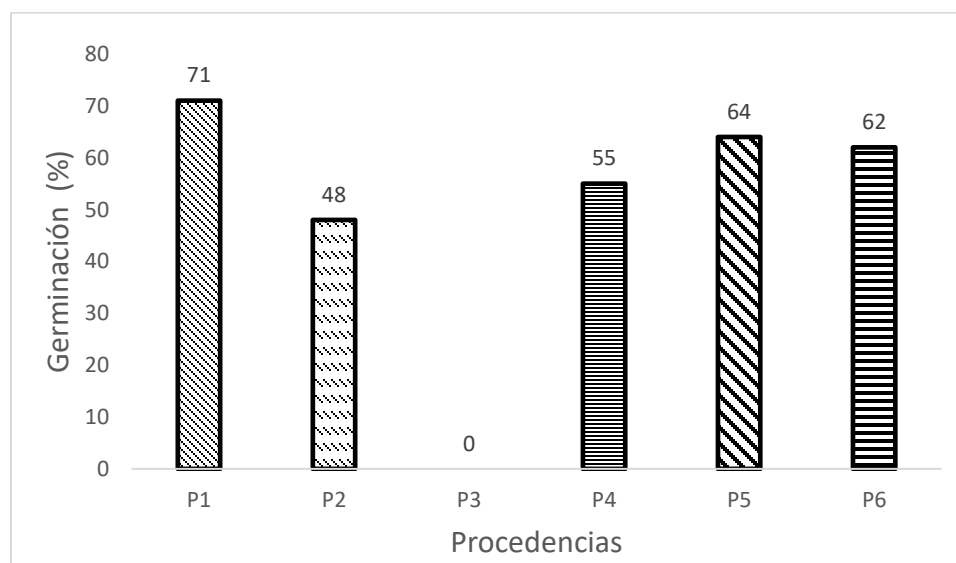
**Figure 1.** Representation of variation in the size of *P. pseudostrobus* seeds from the six provenances: Amecameca, State of Mexico (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); and Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6).

**Tabla 2.** Valores promedio y error estándar por procedencia de las características morfométricas de *Pinus pseudostrobus*.  
**Table 2.** Average values and standard error by provenance of the morphometric characteristics of *Pinus pseudostrobus*.

Procedencia	Longitud de semilla (mm)	Ancho de semilla (mm)	Grueso de semilla (mm)	Peso de semilla (g)	Índice de semilla
<b>Amecameca (P1)</b>	5.56±0.06 b	3.74±0.04 b	2.39±0.02 c	0.024±0.005 a	50.40±1.25 c
<b>Jeráhuaro (P2)</b>	5.76±0.04 b	3.89±0.03 a	2.25±0.02 d	0.023±0.002 a	50.50±0.69 c
<b>El Floripondio (P3)</b>	5.23±0.04 c	3.34±0.03 c	2.18±0.02 d	0.010±0.000 b	38.32±0.68 d
<b>La Gloria (P4)</b>	6.29±0.06 a	4.04±0.04 a	2.63±0.03 a	0.027±0.001 a	67.71±1.58 a
<b>Francisco I. Madero (P5)</b>	5.77±0.07 b	3.65±0.04 b	2.43±0.03 c	0.028±0.002 a	52.21±1.36 c
<b>Mesa del Laurel (P6)</b>	6.19±0.07 a	3.95±0.04 a	2.54±0.02 b	0.031±0.004 a	62.46±1.33 b
<b>Promedio</b>	5.93±0.04	3.88±0.02	2.46±0.01	0.029±0.002	57.44±0.88

P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P3=El Floripondio, Zapotlán, Jalisco, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes en una misma columna, muestran diferencias significativas ( $P<0.05$ ) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer

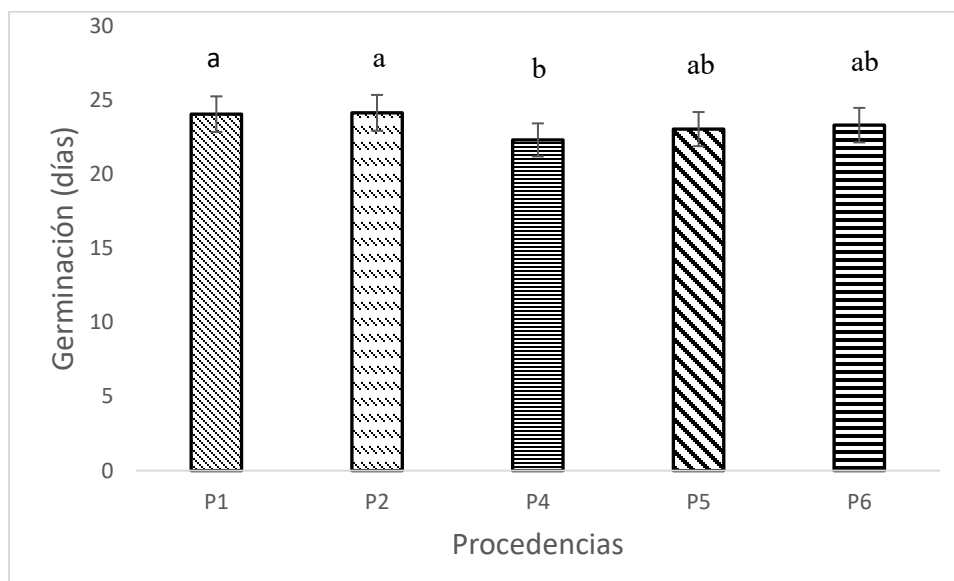
Los resultados del análisis para evaluar el porcentaje de germinación mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $P<0.0001$ ). El mayor porcentaje de germinación se presentó en la procedencia de Amecameca, Estado de México (71%) mientras que el porcentaje más bajo lo presentó El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (0%: podría atribuirse a las condiciones en las que fueron colectadas las semillas, así como al tipo de almacenamiento y manejo al que estuvieron sometidas) (Figura 2).



**Figura 2.** Porcentaje de germinación total por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer todas las procedencias fueron significativamente diferentes unas de otras ( $P<0.05$ ).

**Figure 2.** Percentage of total germination by origin of *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). According to the Tukey-Kramer test, all provenances were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

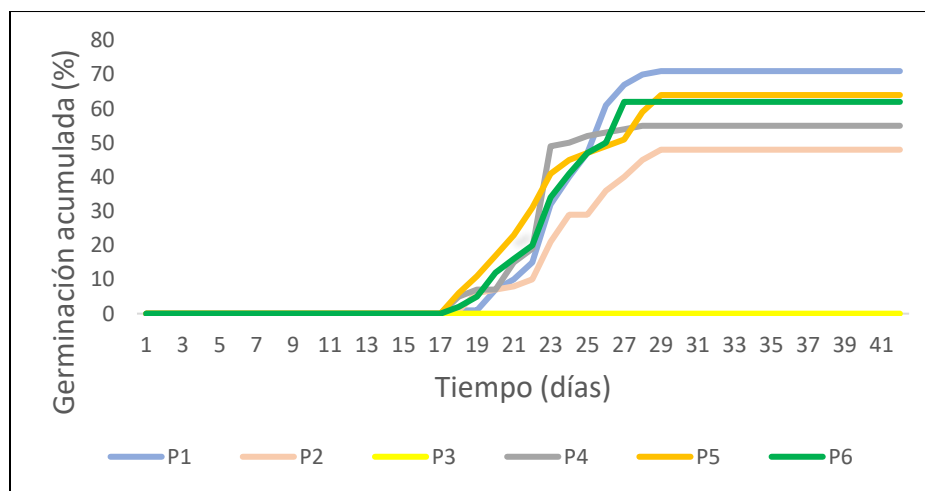
La velocidad de germinación presentó diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias ( $P < 0.05$ ). Con base en la prueba de Tukey-Kramer se formaron dos grupos: el primer grupo lo conformaron las procedencias Amecameca (P1), Jeráhuaro y (P2); el segundo grupo lo conformó La Gloria (P4), pero también se encuentran incluidas las Francisco I. Madero (P5) y Mesa del Laurel (P6). La procedencia El Floripondio (P3) fue excluida debido a que su germinación fue 0 % (Figura 3).



**Figura 3.** Velocidad de germinación en días por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Letras diferentes indican diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer ( $P = 0.05$ ).

**Figure 3.** Germination rate in days by the origin of *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P1); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Different letters indicate significant differences, as determined by the Tukey-Kramer test ( $P < 0.05$ ).

En relación con el análisis de trayectoria de la germinación entre las procedencias (estimador de Kaplan-Mier), la germinación inició el día 18 después de la siembra en todas las procedencias, presentando la máxima germinación en las procedencias Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5) al día 23 y finalizando al día 29; en La Gloria (P4) finalizó al día 28, mientras que en la Mesa del Laurel (P6) al día 27. La Figura 4 permite observar que, en general, entre los 25 y 27 días se puede alcanzar el mayor porcentaje de germinación que puede ser de hasta 70%.



**Figura 4.** Germinación acumulada en días para las procedencias de *Pinus pseudostrabus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Chi-cuadrada se presentaron diferencias significativas ( $\chi^2=11.327$ , G.L.= 4,  $P=0.023$ ).

**Figure 4.** Germination accumulated in days for the provenances of *Pinus pseudostrabus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). According to the Chi-square test, there were significant differences ( $\chi^2=11.327$ , G.L.= 4,  $P=0.023$ ).

Los valores de correlación fueron bajos para varios pares de variables y no significativos en algunos casos, lo que significa una falta relación entre esas variables. Las altas correlaciones entre las variables longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS) y grueso de semilla (GS) con el índice de semilla (IS) ( $0.76 \leq r \leq 0.84$ ), incluso con valores mayores que las correlaciones entre las variables individuales de tamaño de semilla, mostraron que el índice de semilla utilizado es un buen indicador del tamaño de las semillas. Las correlaciones entre longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grueso de semilla (GS) y peso de semilla (PS) con respecto al porcentaje de germinación fueron bajas y negativas ( $-0.03 \leq r \leq 0.21$ ), incluso el índice de semilla ( $r=-0.17$ ), lo que indica que no hay relación entre el tamaño de las semillas y el porcentaje de germinación. La correlación entre el índice de velocidad de germinación (IVG) y el porcentaje de correlación fue muy alto ( $r=0.98$ ), probablemente por tratarse de variables correlacionadas (Tabla 3).

**Tabla 3.** Coeficiente de correlación de Pearson de las características evaluadas para las seis procedencias de *Pinus pseudostrabus*.

**Table 3.** Pearson's correlation coefficient of the characteristics evaluated for the six provenances of *Pinus pseudostrabus*.

	Ancho de semilla	Grueso de semilla	Peso de Semilla	Índice de velocidad de germinación	Índice de semilla	Germinación (%)
Longitud de semilla (LS)	0.61	0.41	0.31	-0.13	0.82	-0.19
Ancho de semilla (AS)		0.47	0.29	-0.18	0.84	-0.21
Grueso de semilla (GS)			0.22	0.04 <sup>ns</sup>	0.76	-0.03 <sup>ns</sup>
Peso de semilla (PS)				-0.05 <sup>ns</sup>	0.34	-0.08 <sup>ns</sup>
Índice de velocidad de germinación (IVG)					-0.09 <sup>ns</sup>	0.98
Índice de semilla (IS)						-0.17

longitud de semilla= LS, ancho de semilla= AS, grueso de semilla=GS, Peso de Semilla= PS Índice de velocidad de germinación= IVG, Índice de semilla =IS \* significativo ( $P \leq 0.0306$ ).

## DISCUSIÓN

En la presente investigación, la variable de longitud de semilla (LS), en las procedencias evaluadas, mostró un máximo de 6.29 mm y un mínimo de 5.23 mm, estos valores son iguales a los reportados por Sivacioglu & Ayan, (2009) en *Pinus nigra*, donde también obtuvieron una longitud de semilla de 6.29 mm situada en el extremo superior del rango proporcionado en nuestra investigación. Similares resultados para *P. pseudostrobus* reportan Carmona *et al.* (2003) y Hernández-Carmona *et al.* (2003), quienes identificaron diferencias significativas entre las semillas de diversas localidades sugiriendo coincidencias (un valor máximo de 5.74 mm y un mínimo de 5.24 mm) de longitud de semilla con los valores reportados en nuestro estudio; la variable ancho de semilla (AS) mostró valores que oscilaban entre 4.04 mm y 3.34 mm, que son comparables a los observados por Muñoz-Flores *et al.* (2023), quienes reportan un valor máximo de 4.19 mm y un mínimo de 3.84 mm. La variable de grosor de semilla (GS), arrojó un promedio máximo de 2.63 mm y un mínimo de 2.18 mm, promedios que se encuentran dentro del rango establecido para *P. pseudostrobus* por Cervantes-Machuca *et al.* (2023), quienes registraron un valor máximo de 2.31 mm; con respecto al peso de semilla (PS), el valor máximo promedio registrado fue de 0.031 g, mientras que el mínimo fue de 0.010 g, que se alinean con el rango reportado para esta especie por Muñoz-Flores *et al.* (2023) quienes indicaron un valor máximo de 0.030 g y un mínimo de 0.017 g.

La longitud de las semillas (LG) de *P. pseudostrobus* oscila entre 5 a 7 mm (Narave *et al.*, 1997). En comparación con otras especies coníferas que presentan rangos similares para esta variable, tales como *P. martinezii* (Morales *et al.*, 2017), *P. greggii* (Rodríguez *et al.*, 2012; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2015) y *P. hartwegii* (Hernández *et al.*, 2012). Entre las variables ambientales se observaron fluctuaciones entre procedencias en altitud (2700 a 2780 msnm), precipitación media anual (800 a 1180 mm) y tipo de suelo (Cambisol, Andosol y Regosol). Un análisis detallado de las variables relacionadas con longitud (LS), ancho (AS), grosor (GS) y peso (PS) de la semilla, junto con un análisis de las características climáticas, edáficas y de vegetación de las procedencias de *P. pseudostrobus*, se observaron tendencias que permiten agrupar las procedencias. Por ejemplo con respecto a la variable longitud de semilla (LS), el análisis estadístico y la caracterización climática (Tabla 1), mostró la presencia de tres grupos distintos: Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5), que se agruparon debido a la ausencia de diferencias estadísticas significativas y a su clima templado subhúmedo compartido; por el contrario, el otro grupo lo conforma La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6) que se encuentran en condiciones climáticas diferentes: semifrío subhúmedo y templado húmedo, respectivamente, pero ambos comparten el mismo tipo de suelo, Andosol. El grupo restante está constituido por la procedencia El Floripondio (P3), que, si bien comparte las condiciones climáticas de Amecameca (P1), Jeráhuaro (P2) y Francisco I. Madero (P5), se encuentra en los suelos de tipo Regosol. Para la variable ancho de semilla (AS) también se surgieron tres grupos: Jeráhuaro (P2), La Gloria (P4) y Mesa del Laurel (P6) que habitan en diferentes condiciones climáticas, pero comparten el mismo tipo de suelo: Andosol; el segundo grupo está conformado por Amecameca (P1) y Francisco I. Madero (P5) que crecen en mismas condiciones climáticas: Templado subhúmedo y de suelo: Andosol, aunque en diferente tipo de vegetación: Bosque de pino-encino y bosque de pino, respectivamente; finalmente, la procedencia El Floripondio se asocia con un tipo de suelo, Regosol. La variable de grosor de semilla (GS) dio como resultado la formación de cuatro grupos: el primero comprende La Gloria (P4), el segundo Mesa del Laurel (P6), el tercero abarca Amecameca (P1) y Francisco I. Madero (P5), y el último grupo incluye Jeráhuaro (P2) y El Floripondio (P3), que parecen estar más relacionadas con las condiciones climáticas predominantes de sus procedencias: semifrío subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo y templado subhúmedo, respectivamente. En este último grupo parece existir una compensación entre el tipo de suelo y el de vegetación (Tabla 1).

Varios estudios sobre las coníferas con respecto a características morfológicas, destacan la influencia de las condiciones geográficas y climáticas en rasgos como las características de los conos, la morfología de las agujas y la diversidad genética (Liepe, 2014; Iwazumi *et al.*, 2019) y los principios de adaptación local (Kawecki & Ebert, 2004; Voltas *et al.*, 2023). Esto puede

atribuirse al hecho de que las poblaciones o individuos, a pesar de pertenecer a la misma especie, muestran respuestas variadas en lugares específicos lo que resulta en comportamientos distintos (interacción individual con sitio) (Alba, 1993, 1996; Clark, 2010; Valladares *et al.*, 2014; Matveev *et al.*, 2022).

El porcentaje de germinación presentó los valores mínimos de 0 y máximos de 71% entre procedencias, coincidiendo los valores máximos con lo reportado para *P. pseudostrobus* (en un rango del 70 al 80.5% dependiendo del sustrato) por Aparicio *et al.* (1999), estos porcentajes también fueron similares a los reportados para otras especies de pino: *P. hartwegii* (Ortega-Mata *et al.*, 2003) y *P. greggii* (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2015). La procedencia Amecameca (P1), con valores bajos para las variables morfológicas de semillas evaluadas y el valor más bajo de índice de semilla (IS), presentó el porcentaje más alto de germinación (71%), con respecto a las demás procedencias, esto puede ser una estrategia de reproducción o de adaptación a las condiciones del sitio donde se encuentra (Solís-Sandoval *et al.*, 2019), ya que el tipo de suelo de esta procedencia es poco desarrollado y generalmente bajo en nutrientes; por otro lado, la procedencia Jeráhuaro (P2) que presentó el porcentaje de germinación más bajo (48 %), presentó un índice de semilla (IS) similar al de Amecameca (P1), pero se desarrolla en suelos de origen volcánico de buena fertilidad.

Para el índice de velocidad de germinación (IVG) el inicio de germinación fue el día 18 después de la siembra para todas las procedencias, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, La Gloria (P4; 22.33 días) presentó diferencias con Amecameca (P1; 24.07 días) y Jeráhuaro (P2; 24.16 días), pero no presentó diferencias entre la Francisco I. Madero (P5; 23.06 días) y Mesa del Laurel (P6; 23.33 días) y estas dos fueron similares a las Amecameca (P1) y Jeráhuaro (P2); estos resultados coinciden con lo reportado por Aparicio *et al.* (1999) para *P. pseudostrobus* (de 17.5 a 18.5 días, dependiendo del sustrato) al inicio de la germinación aun cuando no se aplicó ningún tratamiento pregerminativo a las semillas.

La correlación entre características de semillas (longitud, ancho, grosor e índice de semilla) fue significativa entre longitud de semilla y ancho de semilla:  $r = 0.61$ ; longitud de semilla y grueso de semilla:  $r = 0.41$ ; longitud de semilla y peso de semilla:  $r = 0.31$ ; ancho de semilla y grueso de semilla:  $r = 0.47$ ; ancho de semilla y peso de semilla:  $r = 0.29$ ; grueso de semilla y Peso de Semilla:  $r = 0.22$ , las correlaciones entre las variables longitud de semilla, ancho de semilla y grueso de semilla con el índice de semilla ( $0.76 \leq r \leq 0.84$ ) fueron incluso mayores que las correlaciones entre las variables individuales, lo que mostró que el índice de semilla utilizado es un buen indicador del tamaño de las semillas. Todas estas correlaciones fueron significativas ( $P \leq 0.0306$ ); estos resultados son similares a los reportados por Alba-Landa *et al.* (2007); si bien la correlación negativa entre velocidad de germinación y el índice de semilla fue baja ( $r = -0.20$ ), el hecho de que sea significativo debe tomarse en cuenta como una característica adaptativa de la especie (Solís-Sandoval *et al.*, 2019).

En conjunto, estos estudios ilustran cómo las coníferas se adaptan a su entorno mediante la diferenciación genética y la plasticidad fenotípica, lo que contribuye a su supervivencia y éxito evolutivo. Finalmente, se ha profundizado en la interpretación de las diferencias observadas entre las procedencias, considerando tanto las características morfológicas como las variables ambientales de los sitios de origen (Cai *et al.*, 2016; Köbölkuti & Höhn, 2018; Leal *et al.*, 2020; Rodríguez *et al.*, 2023).

## CONCLUSIÓN

La presente investigación mostró que las variables: longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grosor de semilla (GS) e índice de semilla (IS), en la procedencia de la Gloria, Perote, Veracruz (P4), fue la que mostró las mayores dimensiones; para la variable peso de semilla (PS), la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6), fue la que obtuvo un valor promedio mayor.

En cuanto a la velocidad de germinación (IVG), la Gloria, Perote, Veracruz (P4) fue la que germinó en menor tiempo, mientras que Amecameca, Estado de México (P1) y de Santa Ana

Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2), mostraron la mayor duración de germinación; en otras palabras, las semillas con mayor índice tuvieron mejor porcentaje de germinación (correlación positiva  $r=0.40$ ), pero germinaron más lentamente (correlación negativa  $r=-0.20$  entre índice de semilla y velocidad de germinación). Con respecto a los porcentajes de germinación, la procedencia de Amecameca, Estado de México (P1) presentó el porcentaje más alto (71 %), mientras que el porcentaje más bajo, excluyendo El Floripondio (P3), se observó en Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2), con un 48%.

En general, las procedencias evaluadas mostraron una plasticidad considerable y demostraron rasgos adaptativos pertinentes a los sitios de procedencia. Si se considerara la posibilidad de establecer programas de producción de plantas, cualquiera de las procedencias evaluadas podría ser eficaz, sin embargo, la opción más recomendable sería la procedencia de Amecameca (P1), (Estado de México) que presentó el mayor porcentaje de germinación (una variable esencial para los programas de producción de planta). Finalmente, se puede concluir que el índice de semilla obtenido representa el tamaño de las semillas y en general, las semillas con índices superiores germinaron en el período más largo, así mismo, las semillas más pequeñas provienen de los sitios más secos, lo que podría considerarse como una adaptación a las condiciones climáticas.

## AGRADECIMIENTOS

Este manuscrito es un producto del Proyecto 277784: “Establecimiento de huertos semilleros regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrobus* para la evaluación genética de los progenitores” financiado por el extinto Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACyT) y la beca No. 1275231 otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

## LITERATURA CITADA

- Alba L., J. 1993. Colecta y manejo de semillas forestales. Centro de Genética Forestal, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 62-63 p.
- Alba L., J. 1996. Mejoramiento genético forestal en el estado de Veracruz. Tesis de maestría en Ciencias. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. 80 p.
- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. O. y Aparicio-Rentería, A. 2007. Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. de tres procedencias del estado de Ver, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-28.
- Aparicio-Rentería, A., Cruz-Jiménez, H., y Alba-Landa, J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, 1(2): 31-34. *Foresta Veracruzana* <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49710206>
- Aragón-Peralta R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez del Valle, J. R. Hernández-Hernández, A., y Campos-Ángeles, G.V. 2020. Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) SG Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59): 118-140. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700>
- Bonner, F. T., Karrfalt, R. P., & Nisley, R. G. 2008. The woody plant seed manual. USDA Forest Service.
- Bray, D., Merino, L., & Barry, D. (eds). 2007. Los bosques comunitarios de México: Manejo sustentable de paisajes forestales. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Instituto de Geografía-UNAM, Florida International Institute.
- Cai, N., Xu, Y., Shi, C., He, B., Li, G., Li, Y., & Duan, A. 2016. Variation in seed and seedling traits and their relations to geo-climatic factors among populations in Yunnan Pine (*Pinus yunnanensis*). *Journal of Forestry Research*, 27(5): 1009-1017.

- <https://doi.org/10.1007/S11676-016-0228-Z>
- Carmona, O. H., García, E. O. R., y Hernández, L. M. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrabus* Lindl. *Foresta veracruzana*, 5(2): 23-28. Foresta Veracruzana. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750204>
- Caroca, R., Zapata, N., & Vargas, M. 2016. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2): 94-101.
- Castañón Malpica, A. T., Gallardo Hernández, C., & Toledo Aceves, T. 2024. Germination and emergence of *Quercus meavei* and *Quercus delgadoana*, threatened species of the cloud forest: effect of natural conditioning. *Acta botánica mexicana*, (131).
- Cervantes-Machuca, M. M., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., y Rodríguez-Vásquez, M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrabus* var. *oaxacana*. *e-CUCBA* (20): 44-51.
- Clark, J. S. (2010). Individuals and the variation needed for high species diversity in forest trees. *Science*, 327(5969): 1129–1132. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1183506>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. 2001. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Durán-Mendoza, E., Cornejo-Gallegos, M., Martínez-Palacios, A., Pedraza-Santos, M. E., Sánchez-Vargas, N. M., Valdovinos-Ramírez, G. A., & Mandujano-Sánchez, M. D. C. 2025. Circannual Clock in *Laelia speciosa* (Orchidaceae) Through Dormancy vs. Germination Dynamics of Seeds Stored Under Controlled Conditions. *Plants*, 14(3): 336.
- Dvorak, W. S., Potter, K. M., Hipkins, V. D., & Hodge, G. R. 2009. Genetic diversity and gene exchange in *Pinus oocarpa*, a Mesoamerican pine with resistance to the pitch canker fungus (*Fusarium circinatum*). *International Journal of Plant Sciences*, 170(5): 609-626.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de la investigación de conocimientos sobre el género *Pinus* en México, Tesis profesional, U. A. CH. Chapingo, México. 623 p.
- Eguiluz-Piedra, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal*, 38(7): 30-43.
- Flores-López, C., Geada-López, G., López-Upton, J., & López-Ramírez, E. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* TF Patterson. *Revista Forestal Baracoa*, 31(2): 49-58.
- Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E., Guerra de la Cruz, V., Pérez Campuzano, E. y Villanueva, A. 2018. Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y bosques*, 24(2): 1-18.
- García-Valencia, L. E., Pérez-García, J. Z., Vallejo-Reyna, M. A., Reynoso-Santos, R., Vargas-Hernández, J. J., & García-Campusano, F. 2022. cpSSR and high-resolution melting analysis (HRM) for *Pinus pseudostrabus* Lindl. Variety Genotyping and Discrimination. *Forests*, 13(2): 200. <https://doi.org/10.3390/fl3020200>
- Gernandt, D. S., & Pérez-de, J. A. 2014. Biodiversity of *Pinophyta* (conifers) in Mexico. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 85. <https://doi.org/10.7550/RMB.32195>
- Hampton, J. G., & TeKrony, D. M. 1995. Handbook of vigour test methods. International Seed Testing Association.
- Hernández V., S., López E., R. G., Sánchez P., P., Villarreal R., M., Parra T., S., Iglesias, L. G., Solís-Ramos, L. Y., y Viveros-Viveros, H. 2012. Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Phyton*, 81(2), 239-247.
- Hernández-Carmona, O., Ramírez García, E. O., & Mendizábal Hernández, L. del C. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrabus* Lindl. 5(2): 23-28.
- Hernández-Díaz, J. C., López-Sánchez, C. A., Martínez-Guerrero, J. H., & Wehenkel, C. 2020. Morphological Differences in *Pinus strobiformis* across latitudinal and elevational

- gradients. *Frontiers in Plant Science*, 11: 559697. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.559697>
- INEGI. 2021. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Serie VII. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- Iwaizumi, M. G., Ohtani, M., & Takahashi, M. 2019. Geographic cline and climatic effects on cone characteristics of natural populations of *Pinus densiflora* throughout the Japanese archipelago. *Journal of Forest Research*, 24(3): 187–196. <https://doi.org/10.1080/13416979.2019.1603666>
- Kawecki, T. J., & Ebert, D. 2004. Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7(12): 1225-1241.
- Köbölkuti, Z. A., & Höhn, M. 2018. Habitat type differentiation in peripheral *Pinus sylvestris* populations based on seed traits and germination data. *Studia bot. Hung.* 49(1): 97–119. <https://doi.org/10.17110/STUDBOT.2018.49.1.97>
- Leal-Sáenz, A., Waring, K. M., Menon, M., Cushman, S. A., Eckert, A. J., Flores-Rentería, L., Hernández-Díaz, J. C., López-Sánchez, C. A., Martínez-Guerrero, J. H., & Wehenkel, C. 2020. Morphological Differences in *Pinus strobiformis* Across Latitudinal and Elevational Gradients. *Frontiers in Plant Science*, 11: 559697. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.559697>
- Liepe, K. J. 2014. Genetic variation in lodgepole pine and interior spruce: adaptation to climate and implications for seed transfer. <https://doi.org/10.7939/R3ZS2KN37>
- López-Toledo, L., Heredia-Hernández, M., Castellanos-Acuña, D., Blanco-García, A., & Saénz-Romero, C. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change. *New Forests* 48: 867–881. <https://doi.org/10.1007/s11056-017-9602-8>
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas. Mexico, pp 108-126.
- Matveev, S., Litovchenko, D., Gusev, A., & Golovin, Yu. G. 2022. Specificity of individual response radial increment of scots pine in the voronezh biosphere reserve on the differentiated forest conditions. *Reproductive and Developmental Biology*, 12(11): 1863. <https://doi.org/10.3390/life12111863>
- Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García, E. O., Márquez-Ramírez, J., y Cruz-Jiménez, H. 2015. Estudio de germinación de cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm. *Foresta Veracruzana*, 17(1): 49-56.
- Michelon, T. B., Santos, F. S. dos, Belniaki, A. C., Vieira, E. S. N., & Panobianco, M. 2022. Time reduction to evaluate *Pinus taeda* seeds germination by time-to-event analysis. *Scientia Agricola*, 79(6). <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0092>
- Morales Hernández, J., Gómez Romero, M., Sánchez Vargas, N. M., Velázquez Becerra, C., Cruz-de-León, J., y Ambriz, E. 2022. Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México. *Bosque*, 43(3): 221-229
- Morales-Hernández, J., Zepeda-Guzmán, S., Cruz-de León, J., Gómez-Romero, M., y Ambriz-Parra, J. E. 2017. Descripción macroscópica y germinación de semillas de *Pinus martinezii* Larsen del estado de Michoacán. *Foresta Veracruzana*, 19(1), 23-28.
- Muñoz F., H. J., Orozco G., G., Coria A., V. M., Muñoz V., Y.Y., y García M., J. J. 2012. Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 14(1): 1-8.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz Reyes, J., Gómez Cárdenas, M., Hernández Ramos, J., y Barrera Ramírez, R. 2023. Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria*, 33. 1-14. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3549>
- Narave Flores, H., Taylor, K., Y Gómez-Pompa, A. 1997. Flora de Veracruz: Pinaceae. 1-53.

**Recibido:**  
20/enero/2025

**Aceptado:**  
26/noviembre/2025

- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria del Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal A. C. Lomas de San Juan Chapingo, México pp.16-18.
- Ortega-Mata, A., Mendizabal Hernández, L., Alba Landa, J., y Aparicio Rentería, A., 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. Foresta Veracruzana, 5(2): 29-34. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4975020>
- Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., y Trejo-Vázquez, I. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. Investigaciones Geográficas, (43): 183-203.
- Pedroso, H. L., Rocha-Filho, L. C., y Lomónaco, C. 2010. Variación fenotípica de plantas del Cerrado (*Sabana brasileña*) frente a la heterogeneidad ambiental. *Ecosistemas*, 19(1): 24-36.
- Perry, Jr. J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- QGIS Development Team 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Rodríguez-Laguna, R., Razo Zárate, R., Juárez Muñoz, J., Capulín Grande, J., & Soto Gutiérrez, R. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. Revista Fitotecnia Mexicana, 35(4): 289-298.
- Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., & Rodríguez-Vásquez, M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. E-Cucba, 10(20): 44-51.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ciudad de México, México: Limusa. 1-496.
- Sáenz-Reyes, J. T., Muñoz-Flores, H. J., & Rueda-Sánchez, A. 2014. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en México. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques, 14(1):107-120.
- Sandoval-García, R., González-Cubas, R., & Bautista-Cruz, A. 2020. Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México. Acta Botánica Mexicana, (127).
- SAS Institute. 2019. SAS/OR 9.3 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.
- Satten, G. A., & Datta, S. 2001. The Kaplan–Meier estimator as an inverse-probability-of-censoring weighted average. The American Statistician, 55(3): 207-210.
- Sivacioglu A, Ayan S. 2010. Variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe]. J Environ Biol. 31(1-2):119-23.
- Solís-Sandoval, S., Gómez-Romero, M., & Velázquez-Becerra, C. (2019). Viabilidad y germinación de semilla de *Cordia elaeagnoides* A. DC. Polibotánica, (48), 121-134. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.48.10>.
- Valladares, F., Matesanz, S., Guilhaumon, F., Araújo, M. B., Balaguer, L., Benito-Garzón, M., & Zavala, M. A. 2014. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. Ecology Letters, 17(11): 1351-1364.
- Voltas, J., Amigó, R., Shestakova, T. A., di Matteo, G., Díaz, R., & Zas, R. 2024. Phylogeography and climate shape the quantitative genetic landscape and range-wide plasticity of a prevalent conifer. Ecological Monographs 94(1): e1596.
- Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Edit. Limusa. México D. F. 632 p.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México D. F. 545 p.