

Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrabus* Lindl. altamente productores de resina

Morphological variation in highly resin-producing seeds of *Pinus pseudostrabus* Lindl.

Hipólito Jesús Muñoz Flores¹, J. Trinidad Sáenz Reyes¹, Martín Gómez Cárdenas¹, Jonathan Hernández Ramos²,
Rubén Barrera Ramírez^{1*}

¹Campo Experimental Uruapan-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Uruapan, Michoacán. munoz.hipolitojesus@inifap.gob.mx, saenz.j.trinidad@inifap.gob.mx, gomez.martin@inifap.gob.mx.
<https://orcid.org/0000-0001-8815-7923>, <https://orcid.org/0000-0002-7963-6540>, <https://orcid.org/0000-0003-2765-957X>.

²Postgrado en Ciencias Forestales-Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. Tel. 55 5804 5900. forestjonathanhdez@gmail.com.
ruben.barrera.ram@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-2685-1199>. <https://orcid.org/0000-0002-0491-5721>.

*Autor de correspondencia

Resumen

Los análisis de conos y semillas permiten evaluar las características físicas y biológicas de un lote de semillas y determinar la cantidad y calidad de semilla producida en unidades productoras de germoplasma forestal. El objetivo de este estudio fue determinar la variación morfológica y germinación de la semilla de 48 familias resineras de *Pinus pseudostrabus* Lindl., distribuidas en tres gradientes altitudinales en rodales naturales de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), Michoacán. Se evaluaron las variables: ancho, largo, peso y germinación, número de semillas por kilogramo y contenido de humedad de la semilla. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre gradientes y entre familias en las variables. El tamaño, peso de la semilla y porcentajes de germinación fueron mayores en los gradientes 1 y 2 (2200 m. s. n. m.-2400 m. s. n. m. y 2401 m. s. n. m.-2600 m. s. n. m.); en número de semillas existe diferencia estadística ($p \leq 0.05$) entre familias en cada gradiente con 35 760 a 108 966 semillas (kg^{-1}).

Palabras clave: Mejoramiento genético; gradiente altitudinal; germinación; peso semilla.

Abstract

The analyzes of cones and seeds allow to evaluate the physical and biological characteristics of a lot of seeds and to determine the quantity and quality of seed produced in forest germplasm production units. The objective of this study was to determine the morphological variation and seed germination of 48 resin families of *Pinus pseudostrabus* Lindl., distributed in three altitudinal gradients, natural forests of the Indigenous Community of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. The evaluated variables were: width, length, weight and germination, number of seeds per kilogram, and moisture content of the seed. The results showed significant differences ($p \leq 0.05$) between gradients and between families in the variables. The size, weight of seed, and germination percentages were higher in gradients 1 and 2 (2200 m. a. s. l.-2400 m. a. s. l. and 2401 m. a. s. l.-2600 m. a. s. l.); in number of seeds there is a statistical difference ($p \leq 0.05$) between families in each gradient with 35 760 to 108 966 seeds (kg^{-1}).

Keywords: Genetic improvement; altitude gradient; germination; seed weight.

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 23 de noviembre de 2022

Publicado: 25 de enero de 2023

Cómo citar: Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, J. T., Gómez Cárdenas, M., Hernández Ramos, J., & Barrera Ramírez, R. (2023). Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrabus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria* 33, e3549. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2023.3549>

Introducción

La industria resinera mexicana empezó a desarrollarse a principios del siglo XX, debido a la búsqueda de nuevos sitios de producción para satisfacer la creciente demanda de aguarrás y colofonia. Una de las premisas era que la conservación de los bosques sería posible mediante un aprovechamiento racional, a través de la recolección de la resina de pino (Delgado, 2020). Sin embargo, la recolección de bienes no maderables, como la resina, genera ingresos reducidos para los comuneros, lo que los obliga a buscar opciones que generen mayores ingresos en el corto plazo, las cuales ejercen mayor presión a los recursos del ecosistema forestal (Francisco-Arriaga *et al.*, 2011).

Las plantaciones forestales comerciales (PFC) permiten solucionar problemas de baja productividad forestal, ya que incrementan la producción maderable más de lo que pueden generar los bosques naturales, por lo que son una alternativa para recuperar terrenos degradados, disminuir las tasas de erosión y asegurar el abastecimiento a la industria forestal (Muñoz *et al.*, 2011). A nivel mundial, las especies del género *Pinus* son las más utilizadas en el establecimiento de PFC debido a su alta rentabilidad económica y comercial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019). Por lo tanto, es necesario mantener abasto suficiente de semilla de calidad, que garantice la transferencia de la genética de sus progenitores.

Se han desarrollado diversos estudios de la variación y el mejoramiento genético, los cuales fomentan en muchos aspectos la conservación de bosques y, a su vez, el aumento de la producción rentable de semilla, a través del establecimiento de huertos semilleros sexuales o asexuales (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). Además, para contribuir a este propósito, existen técnicas de análisis que permiten evaluar la calidad de las semillas, que son de interés tanto para la industria semillera como para las instituciones de investigación, ya que determinan el valor de las semillas para beneficio del productor (International Seed Testing Association [ISTA], 2016) y el incremento de la productividad de los bosques (FAO, 2019).

Pinus pseudostrobus es una especie que se distribuye principalmente en las entidades del centro de México, mientras que al norte del país su distribución es escasa (Viveros-Viveros *et al.*, 2006). En términos de uso, resulta muy importante realizar estudios de variación en semillas para contar con elementos que permitan plantear y planear el aprovechamiento de su potencial y contribuir al conocimiento ecológico de la especie. Por otro lado, se debería aprovechar la variación existente como herramienta en posteriores trabajos de conservación y restauración, ante escenarios de cambio climático en los sitios de distribución natural de la especie, además de iniciar con un programa de mejoramiento genético, mediante la selección y posterior reproducción de genotipos sobresalientes altamente productores de resina.

Se han desarrollado trabajos de variación morfológica y germinación en semillas de *P. pseudostrobus* (Domínguez *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2003; Romero *et al.*, 2017) y en otras especies de coníferas, como es el caso de *P. radiata* var. *cedrosensis* (Quiroz & Bermejo, 1999), *P. cembroides* subsp. *orizabensis* (Sánchez *et al.*, 2002), *P. greggii* (Morante *et al.*, 2005), *P. patula* (Aparicio-Rentería *et al.*, 2020), *P. greggii* var. *greggii* (Rodríguez *et al.*, 2012) y otras coníferas, como *Abies religiosa* (Ortiz-Bibian *et al.*, 2019).

La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), en Michoacán, cuenta con una superficie de 18 138 ha⁻¹, de las cuales 10 870 ha⁻¹ son arboladas. Por su parte, *P. pseudostrobus* es una de las especies más apreciadas en la industria forestal de la región (Barrera *et al.*, 2018), es de gran importancia económica y ecológica, con amplia distribución en la zona, y ha sido utilizada frecuentemente en PFC por su rápido crecimiento (Gómez-Romero *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2011; Muñoz *et al.*, 2019); además, es considerada como buen productor de resina (Viveros-Viveros *et al.*, 2006). Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue determinar la variación morfológica y germinación de la semilla de 48 familias resineras de *Pinus pseudostrobus* Lindl., distribuidas en tres gradientes altitudinales en rodales naturales de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

Materiales y métodos

Selección de los árboles

Durante noviembre y diciembre de 2018, se seleccionaron 48 árboles considerados como altamente productores de resina, con ayuda de los productores y resineros de la CINSJP, en rodales naturales de *P. pseudostrobus*, y cada árbol seleccionado fue considerado como una familia. El estudio se realizó en tres gradientes altitudinales donde se encontró la especie (2200 m-2400 m, 2401 m-2600 m y 2601 m-2800 m), y la selección de las familias resineras se realizó en árboles con una edad reproductiva de 52 ± 4.2 años (obtenida con taladro de Pressler, marca Haglöf Sweden), vigorosos, en estrato dominante y codominante, con presencia de conos y en rodales libres de plagas y enfermedades.

Colecta de conos y manejo de la semilla

De cada uno de los árboles seleccionados en campo se recolectó la cantidad de conos disponibles, en promedio 52 ± 5 conos por árbol (2496 conos recolectados en total), que fueron identificados y separados por familia y gradiente altitudinal para su posterior traslado al vivero del Campo Experimental Uruapan, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Uruapan, Michoacán, donde se utilizaron cajas de cartón prensado, previamente identificadas, para que de manera natural (exposición al sol), por un periodo de tres semanas, todos los conos disponibles de cada familia abrieran las escamas y se liberaran las semillas. Finalmente, todos los conos se disectaron para liberar toda la semilla, que fue recolectada en bolsas de papel estraza debidamente etiquetadas, para posteriormente realizar el desalado con el empleo de una criba o arnero de 0.3 mm. Finalmente, a través del método físico de flotación, se colocaron las semillas de cada familia en un recipiente individual con agua para desechar aquellas que fueran vanas (León-Lobos *et al.*, 2014). Este proceso se realizó para cada una de las familias seleccionadas, y las pruebas de laboratorio se realizaron en el banco de germoplasma de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), en Uruapan, Michoacán.

Análisis de semillas

El análisis de los conos y semillas se basó en la metodología de Bramlett *et al.* (1977) y Mosseler *et al.* (2000), con modificaciones de acuerdo con el estudio, tomando cuatro muestras representativas de 100 semillas por familia, tal como se describe por el ISTA (2016). Las características morfológicas que se analizaron fueron ancho (AS) (mm) y largo (LS) (mm), mediante un vernier digital marca Truper® con aproximación a milímetro, mientras que el peso de semillas (PS) (g) se determinó mediante una balanza analítica marca BEL®. En cada familia se extrajeron cinco muestras de 100 semillas cada una, y se calculó el número de semillas por kilogramo a través de la siguiente fórmula recomendada por la FAO (1991).

$$\text{Número de semillas por kilogramo} = \frac{\text{Número de semillas que contiene la muestra} \times 1000}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

Para determinar el contenido de humedad, se utilizaron cuatro muestras de 100 semillas por familia, cada una se pesó en fresco y después se colocaron en un horno de secado marca Riossa digital H-33[®] a una temperatura de 103 °C ± 2 °C durante 17 h ± 1 h (ISTA, 2016). Después del tiempo de secado de las semillas, cada muestra se volvió a pesar para obtener por diferencia el contenido de humedad a través de la siguiente fórmula (FAO,1991).

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso seco}}{\text{Peso original}} \times 100$$

Para evaluar el porcentaje de germinación (G), se colocaron cinco repeticiones por familia en una cámara germinadora con temperatura controlada de 22 °C a 28 °C durante 28 días. Se utilizaron cajas petri con papel filtro como sustrato, cada caja contenía 25 semillas y se marcó con el número de familia; además, se humedeció con 3 ml de la solución de fungicida Tecto60[®] a una solución de 1.5 g L⁻¹ de agua. La G se evaluó cada tercer día por un periodo de 28 días. Para obtener los valores porcentuales de esta variable, se dividió el número de semillas germinadas entre el número total de semillas, y el resultado se multiplicó por 100.

Los datos obtenidos de las variables evaluadas (AS, LS y PS) fueron capturados en Excel, donde se creó la base de datos por árbol resinero, y agrupados por gradiente altitudinal. Posteriormente, se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ($p = 0.05$), donde todos los datos presentaron normalidad (significancia obtenida > valor establecido de $p = 0.05$). Con los valores de G, se realizó la transformación arcoseno raíz (%/100), y el procesamiento de todas las variables evaluadas se realizó con el programa estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2011). Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento MIXED para cada variable, y cuando se presentaron diferencias estadísticas significativas, se efectuó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

El modelo lineal utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j(A_i) + C_k(A_i) + \epsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} = Valor de la variable respuesta; μ = Media general; A_i = Efecto de la i -ésimo gradiente altitudinal; $B_j(A_i)$ = Procedencia o localidad de recolecta anidada por gradiente altitudinal; $C_k(A_i)$ = Familia anidada por gradiente altitudinal; ϵ_{ijk} = Error experimental.

Resultados

Selección de los árboles

Los 48 árboles seleccionados como altamente productores de resina se caracterizaron con altura promedio entre 34 m a 36 m y diámetro normal promedio de 60 cm; de cada árbol se recolectaron en promedio 52 ± 5 conos (Tabla 1).

Tabla 1. Datos promedio de los árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl., seleccionados como altamente resineros en la CINSP, Michoacán, en tres gradientes altitudinales.

Gradiente altitudinal (m. s. n. m.)	Altura total (m)	Diámetro normal (cm)	Conos colectados/árbol
1 (2200-2400)	35.6/4.0	59.9/8.4	48/7.5
2 (2401-2600)	32.9/10.4	59.9/14.0	52/5.5
3 (2601-2800)	35.1/5.6	59.5/9.5	54/6.1

Nota: Números después de la diagonal corresponden a la desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

Morfología de las semillas

Los análisis de varianza evidenciaron que, en los tres gradientes, así como en el factor anidado localidad x gradiente y familia x gradiente, existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) para las variables ancho (AS), largo (LS) y peso de semillas (PS) (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los análisis de varianza para el largo (mm), ancho (mm) y peso (g) de la semilla de árboles altamente productores de resina de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Fuente de variación	GL	Valor de probabilidad (p) *		
		AS (mm)	LS (mm)	PS (g)
Gradiente altitudinal	2	< 0.0001	> 0.05	< 0.0001
Localidad x Gradiente	8	< 0.0001	> 0.05	< 0.0001
Familia x Gradiente	50	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Nota: AS = Ancho de semilla, LS = Largo de semilla y PS = Peso de semilla. *Diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) demostró que las semillas procedentes del gradiente 1 (2200-2400 m. s. n. m.) presentaron los valores más altos de AS y PS con $4.16 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ y $0.020 \text{ mg} \pm 0.004 \text{ mg}$, respectivamente; sin embargo, estos resultados no coinciden con el LS, ya que la semilla del gradiente 2 (2401 m. s. n. m.-2600 m. s. n. m.) presentó el valor más elevado con $6.17 \text{ mm} \pm 0.70 \text{ mm}$ y fueron superiores con respecto a los obtenidos en el gradiente 3 (2601 m. s. n. m.-2800 m. s. n. m.), que fueron los más bajos para estas variables (AS, LS y PS) (Tabla 3).

En lo que respecta al factor anidado localidad x gradiente, las diferencias fueron significativas únicamente para el AS y PS ($p \leq 0.05$) dentro del gradiente 2, ya que el número de localidades de recolecta de semilla fue mayor con respecto a los predios que se incluyeron en los gradientes 1 y 3. Los predios Hijo Sr. Lucas y El Llano presentaron los valores más elevados del AS ($4.19 \text{ mm} \pm 0.07 \text{ mm}$ y $4.14 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$, respectivamente), seguido de los parajes Tacarido y Gómez ($4.0 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$ y $3.84 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$, respectivamente). Respecto al PS, nuevamente en los parajes Hijo Sr. Lucas ($0.030 \text{ mg} \pm 0.001 \text{ mg}$) y El Llano ($0.020 \text{ mg} \pm 0.009 \text{ mg}$) obtuvieron el mayor peso, mientras que en semilla proveniente de árboles de los parajes Tacarido y Gómez se tiene el menor peso (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), por gradiente altitudinal y localidad anidada en gradiente de la semilla de 48 familias resineras de *Pinus pseudostrabus* en la CINSJP, Michoacán.

Factor		Variable		
Gradiente (n = 2)		AS (mm)	LS (mm)	PS (mg)
1 (2200-2 400 m)		4.16 ± 0.02 a	5.68 ± 0.48 a	0.020 ± 0.004 a
2 (2401-2 600 m)		3.95 ± 0.01 c	6.17 ± 0.70 a	0.018 ± 0.003 b
3 (2601-2 800 m)		4.10 ± 0.03 b	5.56 ± 1.02 a	0.017 ± 0.001 c
Gradiente x Localidad (n = 8)	Localidad	AS (mm)	LS (mm)	PS (mg)
1	Pascuala	4.16 ± 0.02 a	5.68 ± 0.03 a	0.02 ± 0.002 a
	Hijo Sr. Lucas	4.19 ± 0.07 a	5.80 ± 3.2 a	0.030 ± 0.001 a
2	El Llano	4.14 ± 0.05 ab	5.70 ± 2.3 a	0.020 ± 0.009 b
	Tacarido	4.00 ± 0.02 b	5.33 ± 0.9 a	0.019 ± 0.003 b
3	Gómez	3.84 ± 0.02 c	5.19 ± 0.9 a	0.018 ± 0.004 c
	Parío	4.10 ± 0.03 a	5.56 ± 0.04 a	0.02 ± 0.003 a

Nota: AS = Ancho de semilla, LS = Largo de semilla y PS = Peso de semilla. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

La variación intraespecífica que se presentó en cada gradiente altitudinal se corroboró con el análisis de varianza, el cual evidenció diferencias altamente significativas ($p \leq 0.0001$) para las variables AS, LS y PS. En la Tabla 4 se observan estos valores y la variación entre familias en cada gradiente. En el AS se presentaron valores de 3.55 mm a 4.51 mm ± 0.5 mm, las familias 3 y 9 del gradiente 1 presentaron los valores más altos con 4.47 mm y 4.51 mm, respectivamente. En el gradiente 2 el valor más alto fue de 4.60 mm y lo presentó la familia 35, mientras que el valor más bajo corresponde a la familia 16 (3.31 mm); y en el gradiente 3, la familia 43 exhibió el valor más bajo de 3.73 mm, y las familias 46 y 47 mostraron los mayores valores con 4.53 mm y 4.45 mm, respectivamente.

El LS del gradiente 1 presentó valores de 4.89 mm a 6.60 mm para las familias 4 y 5, respectivamente; en el gradiente 2, los valores del LS que se presentaron fueron 4.72 mm (familia 18) a 6.09 mm (familia 35), donde este último fue el mayor valor para esta variable. Las semillas de las familias ubicadas en el gradiente 3 obtuvieron valores de LS, que van de 4.67 mm (familia 43) a 6.25 mm (familia 47) (Tabla 4).

Respecto al PS, en el gradiente 1 se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con valores de 0.012 mg a 0.026 mg, que corresponde a las familias 4 y 9, respectivamente. Los valores obtenidos para esta variable en el gradiente 2 presentaron valores similares; sin embargo, el peso de la semilla fue menor con un valor mínimo de 0.012 mg (familia 21), mientras que el peso más alto lo presentó la familia 35 (0.030 mg). En el gradiente 3, el PS más bajo que se obtuvo fue de 0.012 mg y el máximo de 0.020 mg, que corresponde a las familias 43 y 47, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$), de la semilla de 48 familias resineras anidadas en gradiente altitudinal de *Pinus pseudostrabus* en la CINSP, Michoacán.

Gradiente altitudinal (m. s. n. m.)	Familia	AS (mm)	LS (mm)	PS (mg)
1 (2 200-2 400)	1	3.90 ± 0.06 e	5.79 ± 0.07 c	0.024 ± 0.007 a b
	2	4.11 ± 0.06 c	5.61 ± 0.07 d	0.017 ± 0.007 cd
	3	4.47 ± 0.06 ab	6.33 ± 0.07 a b	0.021 ± 0.007 bc
	4	3.55 ± 0.06 f	4.89 ± 0.07 g	0.012 ± 0.007 e
	5	4.41 ± 0.06 a b	6.60 ± 0.07 a	0.022 ± 0.007 b
	6	4.02 ± 0.06 d	5.85 ± 0.07 c	0.021 ± 0.007 b c
	7	4.00 ± 0.06 d	5.43 ± 0.07 f	0.021 ± 0.007 b c
	8	4.24 ± 0.06 a b	5.50 ± 0.07 d	0.019 ± 0.007 c
	9	4.51 ± 0.06 a	5.91 ± 0.07 b	0.026 ± 0.007 a
	10	4.14 ± 0.06 b	5.83 ± 0.07 bc	0.022 ± 0.007 b
	11	4.12 ± 0.06 b c	5.05 ± 0.07 e	0.014 ± 0.007 d
	12	4.23 ± 0.06 a b	5.04 ± 0.07 e	0.019 ± 0.007 c
	13	4.32 ± 0.06 a b	6.00 ± 0.07 b	0.023 ± 0.007 b
2 (2 401-2 600)	14	3.67 ± 0.06 e	4.79 ± 0.07 d	0.014 ± 0.003 e
	15	3.89 ± 0.06 d	5.20 ± 0.07 c	0.018 ± 0.003 c
	16	3.31 ± 0.06 f	4.90 ± 0.07 d	0.022 ± 0.003 b
	17	3.67 ± 0.06 e	4.98 ± 0.07 d	0.014 ± 0.003 e
	18	3.96 ± 0.06 d	4.72 ± 0.07 e	0.013 ± 0.003 e
	19	3.88 ± 0.06 e	5.22 ± 0.07 c	0.019 ± 0.003 c
	20	4.27 ± 0.06 b	5.51 ± 0.07 bc	0.013 ± 0.003 f
	21	3.45 ± 0.06 f	4.83 ± 0.07 d	0.012 ± 0.003 f
	22	4.43 ± 0.06 a b	5.89 ± 0.07 a b	0.022 ± 0.003 b
	23	3.61 ± 0.06 d	5.08 ± 0.07 d	0.015 ± 0.003 e
	24	3.94 ± 0.06 d	4.93 ± 0.07 d	0.015 ± 0.003 e
	25	4.05 ± 0.06 c	5.80 ± 0.07 a b	0.021 ± 0.003 b c
	26	4.19 ± 0.06 b	5.80 ± 0.07 a b	0.026 ± 0.003 b
	27	4.04 ± 0.06 c	5.65 ± 0.07 b	0.020 ± 0.003 b c
	28	4.24 ± 0.06 b	5.74 ± 0.07 b	0.021 ± 0.003 b c
	29	4.46 ± 0.06 a b	5.48 ± 0.07 c	0.024 ± 0.003 b
	30	4.03 ± 0.06 c	5.73 ± 0.07 b	0.019 ± 0.003 c
	31	4.13 ± 0.06 c	5.92 ± 0.07 a b	0.019 ± 0.003 c
	32	3.92 ± 0.06 d	5.29 ± 0.07 c	0.018 ± 0.003 c
	33	4.29 ± 0.06 b	5.20 ± 0.07 c	0.020 ± 0.003 b c
	34	3.51 ± 0.06 e	4.72 ± 0.07 e	0.014 ± 0.003 e
	35	4.60 ± 0.06 a	6.09 ± 0.07 a	0.030 ± 0.003 a
	36	3.73 ± 0.06 e	5.28 ± 0.07 c	0.017 ± 0.003 d
	37	3.96 ± 0.06 d	5.07 ± 0.07 cd	0.019 ± 0.003 c
	38	4.02 ± 0.06 c	5.10 ± 0.07 c	0.017 ± 0.003 d
	39	4.29 ± 0.06 b	5.21 ± 0.07 c	0.020 ± 0.003 b c
	40	3.81 ± 0.06 e	5.11 ± 0.07 cd	0.014 ± 0.003 e
	41	3.77 ± 0.06 e	5.22 ± 0.07 c	0.014 ± 0.003 e
	42	3.81 ± 0.06 e	5.11 ± 0.07 cd	0.015 ± 0.003 e
3 (2 601-2 800)	43	3.73 ± 0.05 c	4.67 ± 0.06 d	0.012 ± 0.006 c
	44	3.93 ± 0.05 b c	5.75 ± 0.06 b	0.019 ± 0.006 a b
	45	4.09 ± 0.05 b	5.74 ± 0.06 b	0.018 ± 0.006 a b
	46	4.45 ± 0.05 a	5.36 ± 0.06 c	0.018 ± 0.006 a b
	47	4.53 ± 0.05 a	6.25 ± 0.06 a	0.020 ± 0.006 a
	48	3.93 ± 0.05 b c	5.59 ± 0.06 c	0.017 ± 0.006 b

Nota: AS = Ancho de semilla, LS = Largo de semilla y PS = Peso de semilla. Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).
Fuente: Elaboración propia.

Semillas por kilogramo

No se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre gradientes, sin embargo, el promedio más elevado de producción de semillas se presentó en el gradiente 3, con 60 094 semillas (Sem) kg^{-1} , y el menor valor se obtuvo en el gradiente 1 con 52 583 Sem kg^{-1} (Figura 1a). Por otra parte, se presentaron diferencias entre familias dentro del gradiente, donde la familia 4 del gradiente 1 registró el valor más alto (72 636 Sem kg^{-1}) (Figura 1b), la familia 40 del gradiente 2 fue la que presentó el mayor número de semillas con 108 967 Sem kg^{-1} (Figura 1c), y además fue la familia con el mayor número de Sem kg^{-1} de los tres gradientes. Finalmente, en el gradiente 3, el valor más elevado correspondió a la familia 43, con 89 029 Sem kg^{-1} (Figura 1d). La familia 9 del gradiente 1 presentó el valor más bajo con tan solo 36 355 Sem kg^{-1} (Figura 1a); en el gradiente 2 el valor más bajo se obtuvo para la familia 35 con 35 760 Sem kg^{-1} (Figura 1b); y en el gradiente 3 las familias 45, 46 y 47 mostraron el valor promedio más bajo con 46 926.29 Sem kg^{-1} (Figura 1c).

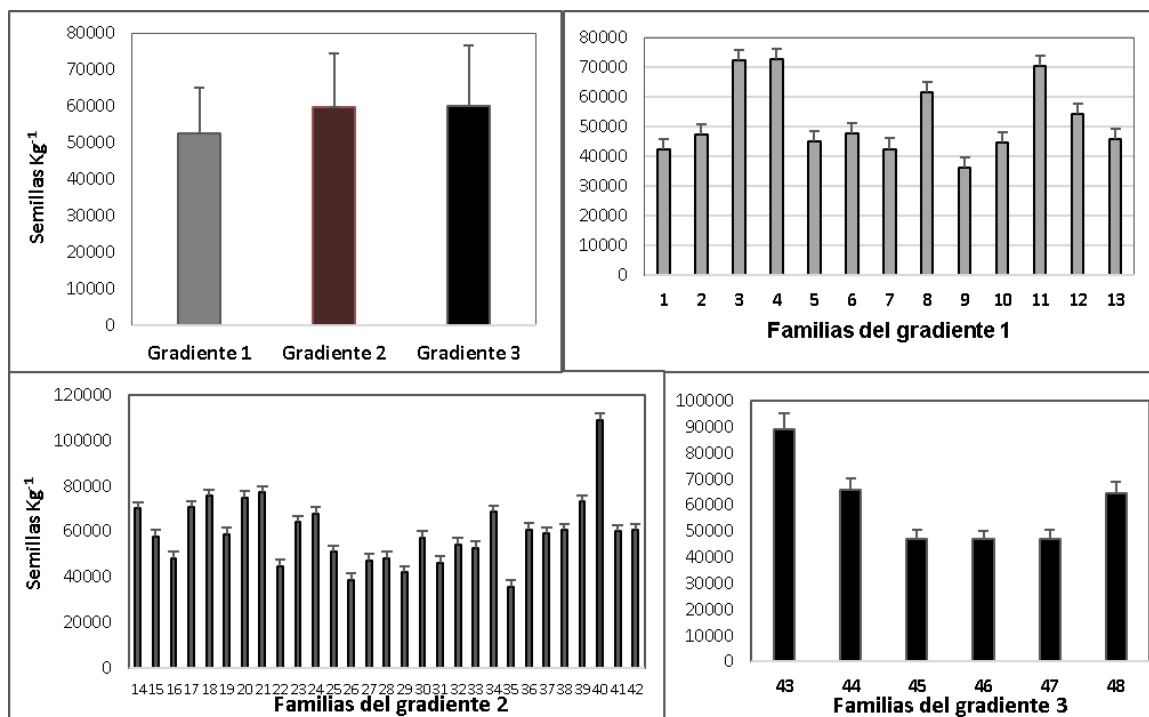


Figura 1. Número de semillas por kilogramo, en tres gradientes altitudinales de 48 familias resineras de *Pinus pseudostrubos*, en la CINSJP, Michoacán. (Las barras indican el error estándar).

Fuente: Elaboración propia.

Contenido de humedad

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el porcentaje del contenido de humedad (CH) de la semilla solo en las familias de los gradientes 2 y 3, en un rango de 2.1% a 13.2% y de 2.76% a 9.74%, respectivamente, mientras que en el primer gradiente el CH fue de 2.01% a 7.80%. El CH de las familias de los gradientes 1 y 3 fue más homogéneo con porcentajes mínimos de 2.01 y hasta 9.74%, sin embargo, en el gradiente 2 se presentó la mayor variación del CH, ya que existen diferencias de hasta 10%, como en el caso de la familia 18, con 2.1%, comparada con el CH de la familia 37, con 13.2% (Figura 2). Los resultados demostraron que existe mayor variación para el CH en aquellas familias que se encuentran en los gradientes 2 y 3, con respecto a los valores obtenidos de las familias incluidas en el gradiente 1.

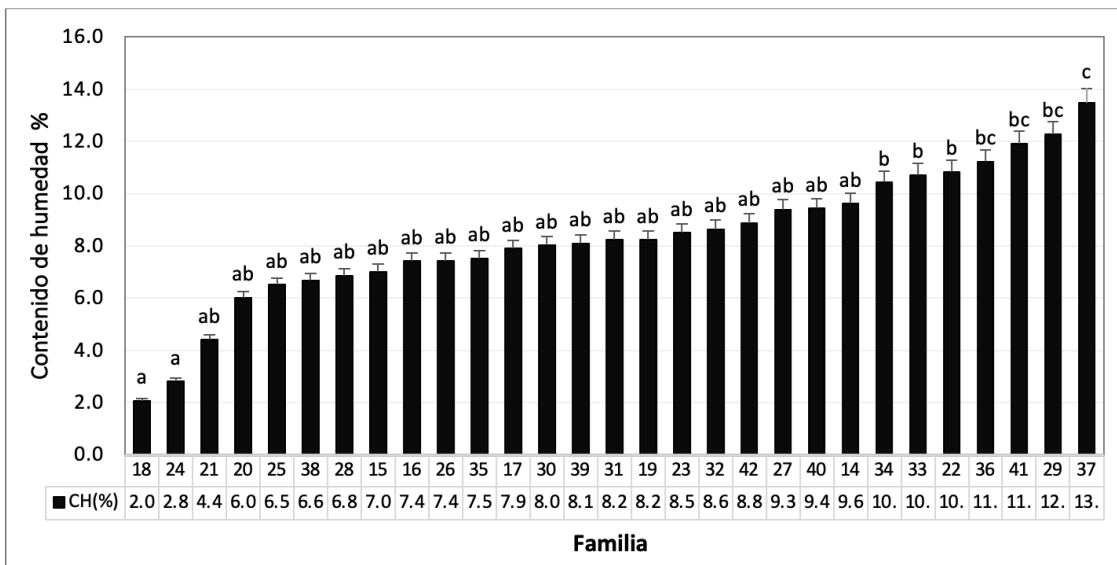


Figura 2. Porcentaje del contenido de humedad de las familias resineras de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el gradiente altitudinal 2 (2401-2600 m. s. n. m.) (Las barras indican el error estándar).
Fuente: Elaboración propia.

El CH es una variable que influye en la germinación de la semilla y uno de los factores más importantes a considerar para el almacenamiento de semillas, o durante la germinación; por lo tanto, el efecto de la humedad sobre el mantenimiento de la calidad de semillas tiene aún mayor importancia.

Germinación

En el análisis estadístico no se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), sin embargo, con el promedio general del porcentaje de germinación se pudo apreciar que las familias incluidas en el gradiente 1 presentaron los mejores valores para esta variable (98% promedio), seguidas de las familias del gradiente 2 (90%) y las familias del gradiente 3 (85%) (Figura 3a). La germinación inició entre los seis y nueve días después de la siembra (dds), bajo condiciones de laboratorio. Las semillas que presentaron mayor velocidad de germinación a los 12 dds fueron las familias 1, 10, 11, 12, 15, 20, 25, 26, 30 y 45, mientras que las familias con el menor porcentaje en esta variable fueron 4, 16, 24, 31, 35, 37, 39, 40, 43 y 46, ya que presentaron un porcentaje menor a 50% a los 12 dds (Figura 3b). Una vez que concluyó la prueba a los 28 dds, las mismas familias presentaron los valores más altos con un porcentaje de germinación del 100% (Figura 3b).

También se observaron diferencias entre el número de semillas germinadas por día respecto a la familia y gradiente, donde las familias 1 y 2 del gradiente 1 presentaban más del 40% de semillas germinadas, y las semillas de las demás familias iniciaron la germinación posterior a estos días. En este mismo gradiente, la familia 4 a los 24 días presentó el valor más bajo con 86.4% de germinación, ya que todas las demás familias mostraron un porcentaje mayor a 90% (Figura 3b).

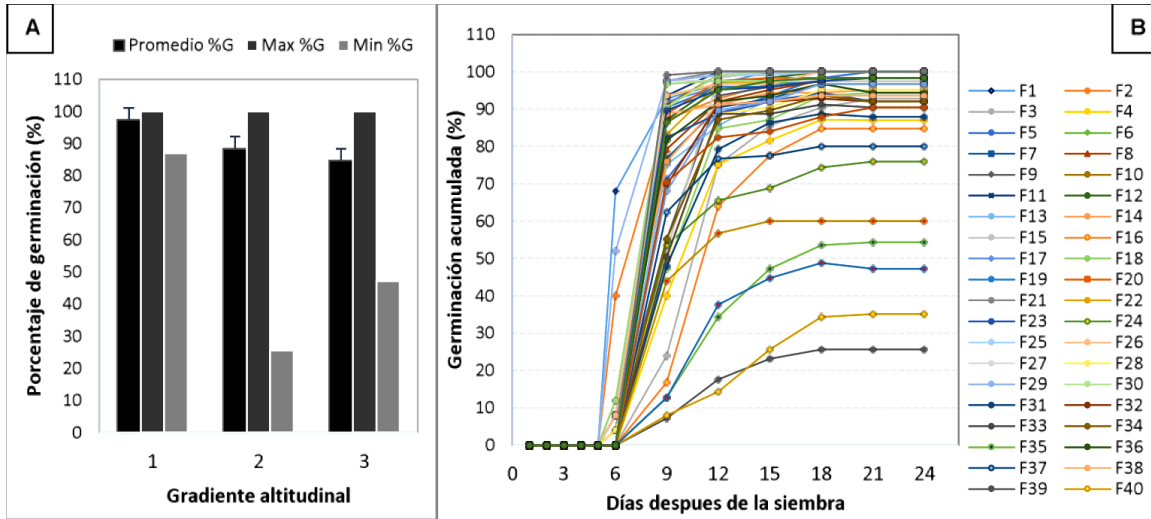


Figura 3. Porcentaje de germinación bajo condiciones de laboratorio de 48 familias resineras de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en tres gradientes altitudinales de la CINSJP.

Fuente: Elaboración propia.

En el gradiente 2, al sexto día algunas familias presentaron porcentajes del 5% a 10% de germinación, en contraste con las familias 17, 21, 25, 26, 42 y 29 para el mismo día, las cuales ya presentaban valores de hasta 50% de semillas germinadas. Las demás familias germinaron hasta el noveno día. Las familias 15, 20, 25, 26, 29 y 30 a los 24 dds presentaron un 100% de germinación, sobresaliendo con respecto a las demás familias del gradiente 2 (Figura 3a).

En el gradiente 3, las familias 46 y 47 para el sexto día solo mostraron 8%; en general, las familias de este gradiente iniciaron la germinación hasta el día 9. Cabe mencionar que el vigor de la germinación no se mantuvo para estas familias, ya que al final de la prueba, las familias 44, 47 y 48 exhibieron los valores más altos de hasta 90% de germinación, y solo la familia 45 alcanzó el 100% (Figura 3a).

Discusión

Con los resultados obtenidos en este trabajo fue posible determinar que existen diferencias intraespecíficas respecto a las variables morfológicas de la semilla (LS, AS y PS), aun tratándose de individuos de una misma especie (*P. pseudostrobus*) y localidad (CINSJP). Al respecto, Sánchez *et al.* (2002) señalan que en semillas de *P. cembroides* procedentes de Alzayanca, Tlaxcala, se determinó diferencias significativas en el AS, LS y PS, entre los árboles de esta localidad. Sin embargo, esto contrasta con los resultados reportados por Aparicio-Rentería *et al.* (2020), quienes encontraron diferenciación morfológica entre poblaciones de *P. patula* en la región de Huayacocotla, Veracruz. Estos autores resaltan que el patrón de variación encontrado mostró correlación positiva entre la altitud de origen de las poblaciones con los caracteres del cono y ancho de la semilla; es decir, las poblaciones de mayor altitud mostraron conos más anchos y largos, así como semillas más anchas, e incluso lo consideraron un patrón inusual.

Asimismo, los resultados coinciden con los obtenidos por Hernández *et al.* (2003), en un estudio de variación de cinco procedencias de *P. pseudostrobus*, incluidas dos de Michoacán. Estos autores reportaron diferencias altamente significativas en AS ($p \leq 0.05$), con una media de 3.67 mm a 3.80 mm y demostraron que las variables AS, LS y PS son de las que presentan más variación. Miniño *et al.* (2014) señalan que una semilla grande resultará en una plántula más grande y con mayores probabilidades de sobrevivir, en comparación con una pequeña.

Por otra parte, los parámetros que determinan la calidad de la semilla son el peso y tamaño, debido a que la relación de estos es relevante al momento de considerar la actitud reproductiva de un individuo (Pastorino & Gallo, 2000). En semillas de *P. pseudostrobus* se ha reportado PS de 0.011 mg como mínimo y 0.022 mg como máximo (Hernández *et al.*, 2003), mientras que en semillas procedentes de árboles selectos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* se obtuvo un peso promedio de 0.02 mg (Aragón-Peralta *et al.*, 2020). De manera similar, Morante *et al.* (2005) en conos, semillas y plantas de *P. greggii*, en Veracruz, señalan que estas variables difieren significativamente entre familias, inclusive entre individuos de una misma familia, debido a las condiciones en que estas son producidas y la sincronía de maduración de los órganos reproductores (Domínguez *et al.*, 2016).

De acuerdo con Miniño *et al.* (2014), la variación en tamaños, colores y formas de las semillas en las especies de pino es controlada por el ambiente, la genética y su interacción, interviniendo en el primer caso factores como nutrientes, luz, sombra, época del año, defoliación, temperatura y humedad, así como la posición en el fruto. Con base en los resultados, se puede aseverar que existe una gran variación entre familias dentro de los gradientes respecto al número de semillas por kilogramo, que van de las 35 760 Sem kg^{-1} a 108 966 Sem kg^{-1} , donde el límite menor coincide con lo reportado por Domínguez *et al.* (2016) para *P. pseudostrobus* en tres sitios de la Sierra Madre Oriental del Estado de Nuevo León, con 47 471 Sem kg^{-1} en Bosque Escuela, 43 762 Sem kg^{-1} en Iturbide y 33 580 Sem kg^{-1} en Santa Rosa. Estos resultados están dentro del rango obtenido en este estudio, sin embargo, existen familias como la 40 y 43 del gradiente 2 y 3, respectivamente, que presentaron mayor cantidad de semillas con 108 966 Sem kg^{-1} y 89 029 Sem kg^{-1} , respectivamente, demostrando que existe variación entre individuos de un mismo gradiente y de una misma especie.

Como se mencionó anteriormente, el CH es una variable que influye en la germinación de la semilla y uno de los factores más importantes a considerar para el almacenamiento de semillas, por lo que semillas sanas y secas pueden ser resguardadas bajo almacenamiento apropiado por mucho más tiempo (hasta más de 10 años en este caso con *P. pseudostrobus*), mientras que semillas húmedas se pueden deteriorar en tan solo unos cuantos días (Antonio, 2012).

A pesar de que no se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de germinación, las familias incluidas en el gradiente 1 presentaron los mejores valores con un promedio del 98%, lo que contrasta con lo citado por Domínguez *et al.* (2016), donde reportaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación de las semillas por sitio, en su estudio de producción de conos y semillas de *P. pseudostrobus* en tres sitios de la Sierra Madre Oriental del Estado de Nuevo León, México. Hernández-Anguiano *et al.* (2018) señalan que la procedencia de la semilla y sus características morfológicas tienen efectos significativos en la calidad de la semilla, así como en el porcentaje de germinación en *P. cembroides* y *P. orizabensis*. Los resultados son superiores a lo obtenido por Romero-Rangel *et al.* (2017) en semillas de *P. pseudostrobus* (74%) y *P. devoniana* (66.4%).

Conclusiones

Las familias resineras de *Pinus pseudostrobus* mostraron variación intraespecífica en las variables morfológicas ancho, largo y peso de semillas, en el número de semillas por kilogramo, así como en germinación; sin embargo, no se encontró variabilidad en el contenido de humedad.

Los promedios más bajos para el peso de semillas se presentaron en los árboles localizados en el gradiente altitudinal 3, debido a que la semilla fue más pequeña que en los otros gradientes; por su parte, las semillas de los gradientes 1 y 2 fue evidentemente más grande y de mayor peso que las semillas del gradiente 3.

El porcentaje de germinación presentó valores superiores al 90% para los gradientes 1 y 2 en comparación a los porcentajes obtenidos para el gradiente 3, que fueron menores al 87%. En consecuencia, el peso, longitud y ancho, así como el contenido de humedad, se encuentran relacionados con la capacidad germinativa de las semillas; por tanto, la semilla de estos gradientes es de buena calidad para emplearla en trabajos de calidad de planta.

La mayor variación intraespecífica se presentó entre las familias del gradiente 2, las cuales, además de que son árboles altamente productores de resina, muestran valores de porcentajes de germinación superiores a los demás (> 95%), con respecto a los árboles del gradiente altitudinal 3.

Agradecimientos

Al Ing. Alberto Morales encargado del Banco de Germoplasma de la Conafor en Uruapan, por las facilidades para la realización del presente trabajo. A la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, por el apoyo en la realización del presente estudio.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Antonio, B. A. (2012). *Manual de ensayos de semillas forestales*. Secretaría de Medio Ambiente-Gobierno del estado de Coahuila. 55 p. https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/08/manual_BG.pdf
- Aparicio-Rentería, A., Viveros-Viveros, H., Hernández-Villa, J., Sáenz-Romero, C., Ruiz-Montiel, C., & Pineda, J. A. (2020). Zonificación altitudinal de *Pinus patula* a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 26(2), e2621962. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621962>
- Aragón-Peralta, R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez-del Valle, J. R., Hernández-Hernández, A., & Campos-Angeles, G. V. (2020). Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) S.G. Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 118-140. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700>
- Barrera, R., López, R., & Muñoz, H. J. (2018). Supervivencia y crecimiento de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes fechas de plantación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(50), 323-341. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i50.245>
- Barrera-Ramírez, R., Vargas-Hernández, J. J., López-Aguillón, R., Muñoz-Flores, H. J., Treviño-Garza, E. J., & Aguirre-Calderón, O. A. (2021). Impact of external and internal factors on successful grafting of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 243-256. doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.05.037>

- Bramlett, D. L., Belcher Jr., E. W., DeBarr, G. L., Hertel, G. D., Karrfalt, R. P., Lantz, C. W., Miller, T., Ware, K. D., & Yates, H. O. (1977). *Cone analysis of southern pines: a guidebook* (General Technical Report SE-13). USDA Forest Service. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_se013.pdf
- Delgado, J. L. (2020). Transferencia tecnológica y conservación forestal en la industrialización de la resina de pino en la Sierra de Tapalpa, Jalisco, México. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 41(162), 34-61. doi: <https://doi.org/10.24901/rehs.v41i162.710>
- Domínguez, P. A., Navar-Chaidez, J. J., Pompa-García, M., & Treviño-Garza, E. J. (2016). Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 29-36. <https://www.redalyc.org/journal/497/49748829004/movil/>
- Francisco-Arriaga, F., García-Rojas, H. R. G., Kido-Cruz, A., & Cortés-Zavala, M. T. (2011). Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 8(1), 107-117. <http://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v8n1/v8n1a6.pdf>
- Gómez-Romero, M., Villegas, J., Sáenz-Romero, C., & Lindig-Cisneros, R. (2013). Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. *Madera y Bosques*, 19(3), 51-63. <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v19n3/v19n3a5.pdf>
- Hernández-Anguiano, L. A., López-Upton, U. J., Ramírez-Herrera, C., & Romero-Manzanares, A. (2018). Variación en germinación y vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia*, 52(8), 1161-1178. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n8/1405-3195-agro-52-08-1161.pdf>
- Hernández, O., Ramírez, E. O., & Mendizábal, L. (2003). Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Foresta Veracruzana*, 5(2), 23-28. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49750204.pdf>
- International Seed Testing Association (ISTA). (2016). *Reglas internacionales para el análisis de las semillas 2016*. https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf
- León-Lobos, P., Sandoval, A. C., Bolados, G., Rosas, M., Stark, D., & Gold, K. (2014). *Manual de recolección y procesamiento de semillas de especies forestales* (Boletín No. 280). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Inia). https://www.researchgate.net/publication/303804961_Manual_de_recoleccion_y_procesamiento_de_semillas_de_especies_forestales
- Miniño, V. A., Rodríguez, L. E., Paino, O., León, Y., & Paulino, L. (2014). Caracterización de la morfología de la semilla de *Pinus occidentalis* Swartz. *Ciencia y Sociedad*, 39(4), 777-801. https://www.researchgate.net/publication/287645488_Caracterizacion_de_la_morfologia_de_la_semilla_de_Pinus_Occidentalis_Swartz
- Morante, J., Mendizábal, L. C., & Alba, J. (2005). Estudio de conos, semillas y plántulas de *Pinus greggii* engelm. de una población del estado de Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 7(2), 23-31. https://www.researchgate.net/publication/237035696_Estudio_de_conos_semillas_y_plantulas_de_pinus_greggii_engelm_de_una_poblacion_del_estado_de_Veracruz_Mexico
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y. S., Johnsen, K. H., & Rajora, O. P. (2000). Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany*, 78(7), 928-940. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/ja_mosseler001.pdf
- Muñoz, H. J., Orozco, G., Coria, V. M., García, J. J., Muñoz, Y. Y., & Cruz, G. S. (2011). Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(1), 29-35. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49719786005.pdf>
- Muñoz, H. J., Sáenz, J. T., García, J. J., Hernández, E., & Anguiano, J. (2019). Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5), 29-44. doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i5.585>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *La producción mundial de productos madereros registra el mayor aumento de los últimos 70 años*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/1256292/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales: Capítulo 9 ensayo de la semilla*. <https://www.fao.org/3/ad232s/ad232s11.htm#ch9.2.6>

- Ortiz-Bibian, M. A., Castellanos-Acuña, D., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Silva-Farías, M. Á., & Sáenz-Romero, C. (2019). Variación entre poblaciones de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham., a lo largo de un gradiente altitudinal. I. Capacidad germinativa de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 301-308. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v42n3/0187-7380-rfm-42-03-00301.pdf>
- Pastorino, M. J., & Gallo, L. A. (2000). Variación geográfica en peso de semilla en poblaciones naturales argentinas de "Ciprés de la Cordillera". *Revista Bosque*, 21(2), 95-109. doi: <https://doi.org/10.4206/bosque.2000.v21n2-08>
- Quiroz, V. R. I., & Bermejo, V. B. (1999). Variación en características de acículas conos y semillas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 5(1), 41-46. <https://revistas.chapingo.mx/forestales/?section=articles&subsec=issues>
- Rodríguez, R., Razo, R., Juárez, J., Capulín, J., & Soto, 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. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n4/v35n4a5.pdf>
- Romero-Rangel, S., Rubio-Licona, L. E., Chávez-Serrano, L., Rojas-Zenteno, E. C., & García-Pineda, M. (2017). Comportamiento germinativo y crecimiento temprano de *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae). *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 10(39), 749-756. <http://revistas.unam.mx/index.php/biocyt/article/view/61719>
- Sánchez, V., Mendizábal, L. C., & Rebolledo-Camacho, V. (2002). Variación en conos y semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey de Las Cuevas, Altzayanca, Tlaxcala Stead. *Foresta Veracruzana*, 4(1), 25-30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49740105>
- SAS Institute Inc. (2011). *Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures*. SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/base/procstat93m1.pdf>
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J., & López-Upton, J. (2006). Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 121-126. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61029204>