

Calidad de semilla de *Pinus greggii* var. *australis* de diferentes procedencias de México

Quality of *Pinus greggii* var. *australis* seeds from different provenances of México

¹Raúl Aarón Ramírez-García^{ORCID}, ^{1,2}Gisela Virginia Campos-Angeles^{ORCID}, ²Javier López-Upton^{ORCID}, ¹Gerardo Rodríguez-Ortíz^{ORCID}, ¹Hermila Cruz-García^{ORCID}, ¹José Cruz Carrillo-Rodríguez^{ORCID}

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Santa Cruz Xoxocotlán-Oaxaca. México. ²Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco-Estado de México. México. [§]Autor de correspondencia: (gisela.ca@voaxaca.tecnm.mx).

Resumen

La calidad de semillas es fundamental para el éxito en los programas de reforestación, ya que determina su capacidad de germinación y establecimiento en el entorno. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad de las semillas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl de diferentes procedencias de México después de un almacenamiento prolongado. El estudio se realizó en el Laboratorio de Ecofisiología Vegetal del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca con semillas proporcionadas por el Banco de Germoplasma del COLPOS. La calidad se evaluó siguiendo la ISTA mediante pruebas de tetrazolio, peso de 1000 semillas, número de semillas por kg y mediciones morfológicas (diámetro polar, ecuatorial y coeficiente de forma). Además, se determinó la curva de imbibición registrando el incremento de peso de submuestras de semillas hasta alcanzar peso constante. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el peso por semilla, el peso de 1000 semillas, el número de semillas por kg, el diámetro ecuatorial y polar, el coeficiente de forma, viabilidad e imbibición de las semillas. La procedencia de “La Palma” destacó por el mayor peso por semilla, semillas más anchas y absorción más rápida de agua. Mientras que “El Madroño” tuvo el mayor porcentaje de viabilidad. Los factores como el peso, el tamaño y la viabilidad de las semillas son determinantes para evaluar la calidad de las semillas, lo que define que sean seleccionadas para programas de reforestación y conservación.

Palabras clave: peso de semillas, variación, viabilidad.

Abstract

Seed quality is essential for the success of reforestation programs, as it determines their ability to germinate and establish in the environment. The objective of this study was to evaluate the quality of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl seeds from different provenances in Mexico after prolonged storage. The study was conducted at the Laboratorio de Ecofisiología Vegetal del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca with seeds provided by the COLPOS Germplasm Bank. Quality was evaluated according to ISTA standards using tetrazolium tests, 1000-seed weight, number of seeds per kg, and morphological measurements (polar diameter, equatorial diameter, and shape coefficient). In addition, the imbibition curve was determined by recording the weight increase of seed subsamples until reaching constant weight. The results showed significant differences ($p \leq 0.05$) in weight per seed, 1000-seed weight, number of seeds per kg, equatorial and polar diameter, shape coefficient, viability, and imbibition. The “La Palma” provenance stood out for its higher seed weight, larger width, and faster water uptake, while “El Madroño” showed the highest viability. Overall, factors such as seed weight, size, and viability are crucial for evaluating seed quality, which determines their selection for reforestation and conservation programs.

Index words: seed weight, variation, viability.

Introducción

Pinus greggii Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue & López es una variedad adaptada a zonas templadas-subhúmedas al sur de la Sierra Madre Oriental (Donahue & López-Upton, 1999; Martínez-Hernández et al., 2007). Su capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales lo convierte en un recurso clave para la restauración de ecosistemas degradados en México (Galicia et al., 2015; Ortiz-Mendoza et al., 2021). Debido a la diversidad de procedencias y cantidad de ensayos realizados en México, esta especie se ha convertido en la más estudiada en cuanto al uso de semillas en plantaciones (Rodríguez-Laguna et al., 2008; Alba-Landa et al., 2009; Rodríguez-Laguna et al., 2012, Mendizábal-Hernández et al., 2015). La elección del origen o procedencia de las semillas constituye una de las primeras decisiones fundamentales en el proceso de reforestación (Jordan et al., 2019).

Las semillas son reconocidas como la principal fuente de germoplasma y constituye uno de los recursos más utilizados para la producción masiva de plantas. Los individuos del género *Pinus*, son relevantes debido a su adaptabilidad y resistencia en diversos entornos, lo que los convierte en un factor determinante para el éxito tanto en programas de reforestación como en plantaciones forestales (Sáenz et al., 2011; Gough, 2020). La calidad de la semilla se determina por cuatro aspectos: genético, sanitario, físico y fisiológico, los cuales se evalúan mediante análisis en laboratorio e invernadero, empleando técnicas normalizadas que garantizan resultados uniformes y reproducibles (Avendaño-López et al., 2015), los principales parámetros que se evalúan son: peso, tamaño y viabilidad (Bonilla-Vichot, 2014; Frischie et al., 2020).

En las especies forestales, este indicador refleja el éxito reproductivo y proporciona datos sobre el

estado de la población, lo que resulta fundamental para diseñar estrategias de conservación (Castilleja-Sánchez et al., 2016). El uso de semillas de alta calidad es esencial para garantizar el éxito de las plantaciones y representa un paso fundamental en la aplicación de los programas de conservación y mejora (Pastorino & Gallo, 2000). Otro factor importante, es la procedencia de las semillas, ya que se considera una de las primeras decisiones fundamentales en el proceso de reforestación (Jordan et al., 2019). Por ello, el objetivo fue evaluar la calidad de semilla de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue & López de diversas procedencias de acuerdo con los lineamientos establecidos por la International Seed Testing Association (ISTA, 2024).

Materiales y métodos

Procedencia de las semillas

La investigación se realizó durante 2024, en el laboratorio de Ecofisiología Vegetal del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Las semillas fueron proporcionadas por el Banco de Germoplasma del Colegio de Postgraduados (COLPOS), Campus Montecillo, fueron colectadas en el año 2005 (**Figura I**). La calidad de semillas fue determinada mediante los lineamientos establecidos por la International Seed Testing Association (ISTA, 2024).

Los sitios de colecta de *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue & López se distribuyen en diversas localidades de Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Estado de México, abarcan una amplia variación en altitud y condiciones geográficas. La altitud varía entre 1200 m en “La Palma”, Hidalgo y 2700 m en “El Madroño”, Querétaro, mostrando la amplitud ecológica de la especie. Cabe destacar que la procedencia “Metepec” en el Estado de México corresponde a un huerto semillero (**Tabla I**).

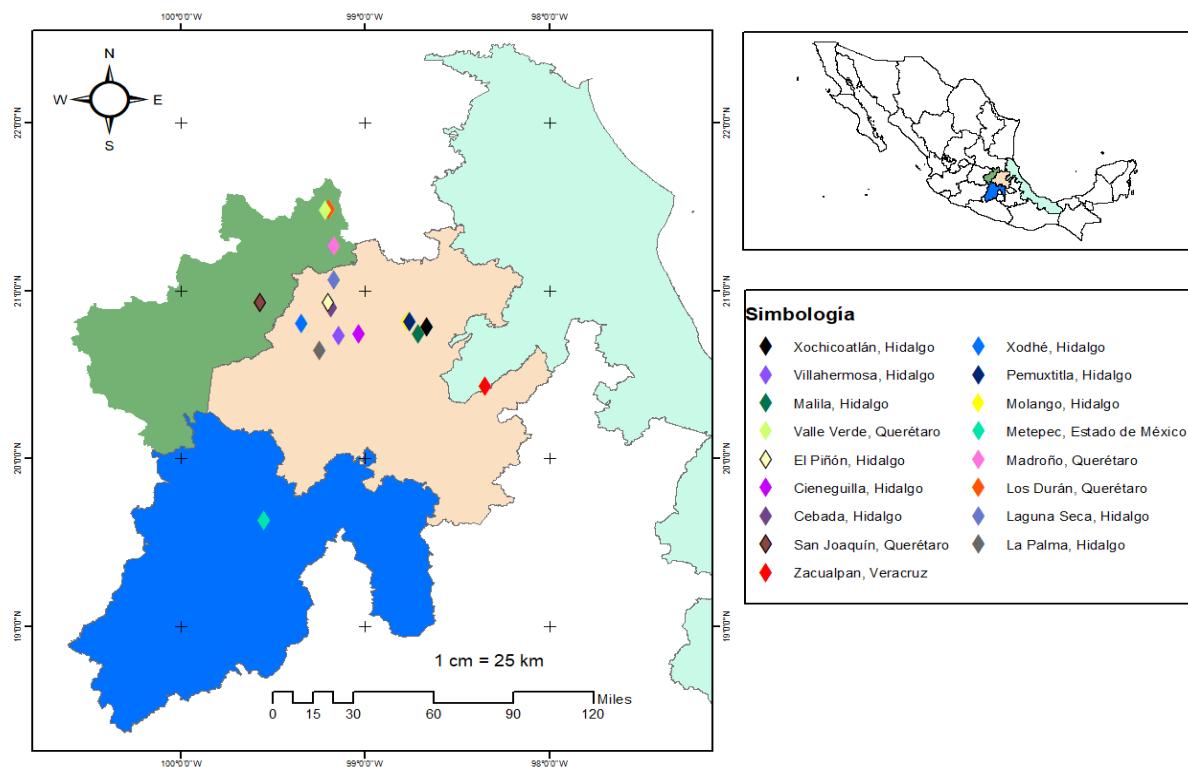


Figura I. Áreas de colecta de las semillas de *Pinus greggii* var. *australis*.

Tabla I. Ubicación geográfica de los sitios de colecta.

Procedencia	Longitud O	Latitud N	Altitud (m)
San Joaquín, Qro.	20° 56'	99° 34'	2 350
La Palma, Hgo.	20° 38'	99° 14'	2 700
Zacualpan, Ver.	20° 26'	98° 20'	1 600
Los Durán, Qro.	21° 28'	99° 12'	1 400
Pemuxtitla, Hgo.	20° 49'	98° 45'	1 370
Villa Hermosa, Hgo.	20° 43'	99° 08'	1 960
Metepec, Méx. [†]	19° 14'	99° 36'	2 600
Valle Verde, Qro.	21° 30'	99° 10'	1 250
Xodhé, Hgo.	20° 48'	99° 20'	1 950
Xochicoatlán, Hgo.	20° 47'	98° 42'	1 840
Cebada, Hgo.	20° 54'	99° 11'	2 090
El Piñón, Hgo.	20° 56'	99° 12'	1 830
El madroño, Qro.	21° 07'	99° 27'	1 200
Molango, Hgo.	20° 50'	97° 40'	1 500
Cieneguilla, Hgo.	20° 44'	99° 02'	2 000
Laguna Seca, Hgo.	21° 04'	99° 10'	1 720
Malila, Hgo.	20° 44'	98° 42'	1 600

[†] Huerto semillero establecido en marzo de 1991 (Azamar-Oviedo et al., 2000).

Prueba de tetrazolio e imbibición

Se seleccionaron al azar 30 semillas sanas de cada procedencia ($n = 510$), fueron sumergidas en agua destilada durante 24 h. Después, se retiró la cutícula mediante un corte longitudinal con la finalidad de exponer el embrión. La tinción se realizó con una solución de cloruro de tetrazolio al 1 % en cajas Petri por 24 h bajo oscuridad (ISTA, 2024). Se registró el número de embriones que tomaron una coloración rosa intenso debido a la reducción de tetrazolio, la cual fue inducida por la función respiratoria de sus células (Maldonado-Peralta et al., 2016).

Para determinar la curva de imbibición de agua, se seleccionaron dos submuestras de 30 semillas cada una. Se registró el peso inicial (g) y el incremento de su peso cada 2 h hasta obtener el peso constante. se utilizó una balanza analítica de precisión (Radwag AS 220/C/2, 0.1 mg).

Variables físicas y morfométricas

La muestra de semillas fue homogeneizada, se dividió en ocho submuestras iguales, de cada una se tomaron 100 semillas, que se pesaron en una balanza analítica Radwag AS 220/C/2 con precisión de 0.1 mg. Para determinar el peso (g) se pesaron ocho muestras de 100 semillas multiplicados por el factor 1.25 como lo indica la ISTA (2024).

Se midió el diámetro polar (mm) y ecuatorial (mm) de 25 semillas por procedencia, para lo que se utilizó un vernier digital Atverce modelo VC 1 con una precisión de 0.1 mm. El coeficiente de forma se determinó mediante la siguiente fórmula (Ecuación I):

$$CF = DE/DP \quad \text{Ecuación I}$$

Donde: CF: coeficiente de forma, DE: diámetro ecuatorial (mm), DP: diámetro polar (mm).

Análisis estadístico

Para todas las pruebas se empleó un diseño completamente aleatorio (*DCA*) que constó de 17 tratamientos (procedencias) con seis repeticiones, a excepción de la imbibición, que tuvo dos repeticiones. Para cada variable, se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de

varianzas mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Levene ($\alpha = 0.05$). Tras ajustar y verificar la normalidad, se llevó a cabo un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), con el software SAS 9.4® (SAS Institute, 2022), excepto en los datos de viabilidad. En el caso de la imbibición se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas.

Resultados y discusión

Peso por semilla

Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) (Tabla 2) en el peso por semilla; la prueba de medias evidenció que las procedencias La Palma (0.0177 g), el Madroño y la Cebada presentaron el mayor peso, sin diferencias estadísticas entre ellas (Tabla 3). Coincide que La Palma es la que tuvo las semillas con el mayor peso y se sitúa a mayor altitud (2700 m) (Tabla 1), en contraste, Pemuxtitla (0.0118 mg), Villahermosa (0.0118 g), Cieneguilla (0.0118 g) y Malila (0.0116 g) mostraron los pesos más bajos y se sitúan a una altitud entre 1370 m y 2 000 m (Tabla 3). Estos resultados muestran una gran variación en el peso como consecuencia de las condiciones ambientales que predomina en cada procedencia; como temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes que pueden afectar el peso por semilla (Hauke-Kowalska et al., 2019; Milberg et al., 1996), como lo describe Muñoz-Flores et al. (2023), quienes encontraron diferencias significativas en el peso de las semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. recolectadas a diferentes altitudes en una misma procedencia, es decir, existe una tendencia de variación morfológica relacionada con la altitud en que se localizan las poblaciones (Viveros-Viveros et al., 2014).

En el caso de la procedencia Zacualpan fue de 0.017 g, valor que resultó ligeramente inferior al reportado por Morante-Carriel et al. (2005), quienes obtuvieron un peso promedio de 0.019 mg en semillas recolectadas en la localidad de Carrizal Chico, dentro del mismo municipio.

Tabla 2. Resumen del análisis de varianza de la calidad de semillas de *Pinus greggii* var. *australis*.

Variable	GL error	Cuadrado medio	Error	CV (%)	\sqrt{CME}
Peso por semilla	85	0.00002282**	0.000003	12.94	0.001765
Peso de 1000 semillas		34.01*	2.296	11.02	1.51
Semillas kg ⁻¹		1348014882**	65697362	10.69	8105.39
Imbibición	17	0.009**	0.00006	9.51	0.027
Diámetro polar ^t	408	0.37**	0.026	4.49	0.10
Diámetro ecuatorial ^t		0.086**	0.100	5.19	0.087
Coeficiente de forma ^t		0.020**	0.013	9.34	0.065

^t Valores de datos transformados \sqrt{x} . **Altamente significativo ($p \leq 0.01$), *significativo ($p \leq 0.05$). GL = grados de libertad, CV = coeficiente de variación, \sqrt{CME} = raíz del cuadrado medio del error.

Este decremento en el peso puede estar relacionado con el almacenamiento prolongado, dado que las semillas evaluadas en el presente estudio fueron colectadas hace aproximadamente 20 años donde el envejecimiento y las condiciones de conservación afectaron el peso y vigor de las semillas (Da-Eun et al., 2024).

Según Khan & Shankar (2001), las semillas más pesadas presentan un mayor contenido de proteínas, carbohidratos y lípidos en comparación con las de menor tamaño, esto indica que en las procedencias como La Palma y la Cebada los árboles pueden enfrentar condiciones adversas, como es lluvias escasas, suelos erosionados y heladas, en comparación con los de Pemuxtitla, Villahermosa y Malila, todos en Hidalgo.

Peso de 1000 semillas y semillas kg⁻¹

Los resultados indican que La Palma y Zacualpan (17.71 g) a pesar de provenir de altitudes diferentes obtuvieron el peso de 1000 semillas más alto; Sánchez-Mendoza et al. (2023) encontraron que la altitud puede influir en la calidad y peso de las semillas, pero la adaptación genética y las condiciones ambientales específicas pueden resultar en pesos similares a diferentes altitudes. La procedencia Xhodé presentó el peso más bajo con un promedio de 8.26 g, este resultado se relaciona con el número de semillas por kilogramo, ya que Xhodé obtuvo un promedio de 121 585 mientras que La Palma 56 817 y Zacualpan 57 271, al contar con semillas de mayor peso, mostraron una

cantidad menor (Tabla 3), según Muñoz-Flores et al., (2023), las diferencias en altitud pueden influir en el tamaño y peso, afectando así la cantidad por kilogramo, por lo tanto las características de las semillas pueden variar dependiendo de la población de origen (Alba-Landa et al., 2006).

Se observó una relación entre el peso y la cantidad de semillas por kilogramo, es decir las más pesadas tienden a ser menos numerosas por unidad de peso en comparación con las más ligeras, esto es importante en la selección ya que, si el objetivo es obtener un gran número de plántulas, se pueden utilizar las más pequeñas, pero si se busca asegurar un mejor establecimiento, se deben elegir más grandes (Simoes-Macayo & Renison, 2015).

Diámetro polar, ecuatorial y coeficiente de forma

En el diámetro polar, El Madroño presentó la mayor longitud promedio (6.76 mm), en contraste con Xhodhé (4.97 mm) y Xochicoatlán (4.91 mm) que mostraron longitudes menores ($p \leq 0.01$). En cuanto al diámetro polar, Cebada (3.13 mm), Los Durán y La Palma (3.10 mm) mostraron los valores más altos, mientras que Villahermosa (2.58 mm), El Piñón (2.59 mm) y Laguna Seca (2.59 mm) presentaron los valores más bajos. Además, el coeficiente de forma mostró que las semillas de Xochicoatlán (0.56) eran más esféricas, mientras que las de Cieneguilla (0.43 mm) mostraron una forma más alargada (Tabla 3).

Tabla 3. Características morfológicas de *Pinus greggii* var. *australis* de diferentes procedencias de México.

Procedencia	Peso por semilla (g)	Peso de 1000 semillas (g)	Número de semillas kg ⁻¹	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Coeficiente de forma
San Joaquín, Qro.	0.0136±0.0009 ^{dc}	14.49±0.63 ^{bdac}	67376±2837.32 ^{feed}	6.26±0.089 ^{bdac}	2.78±0.0416 ^{bdc}	0.44±0.0078 ^{bc}
La Palma, Hgo.	0.0177±0.0006 ^a	17.71±0.60 ^a	56817±2060.26 ^f	6.40±0.182 ^{bac}	3.10±0.1733 ^a	0.53±0.0799 ^{bac}
Zacualpan, Ver.	0.0151±0.0011 ^{bdac}	17.71±0.94 ^a	57271±3053.96 ^f	5.53±0.071 ^{feg}	2.65±0.0408 ^d	0.48±0.0073 ^{bac}
Los Duran, Qro.	0.0146±0.00055 ^{bdac}	14.11±0.02 ^{bdcc}	70977±1260.20 ^{feebd}	6.26±0.108 ^{bdac}	3.10±0.0464 ^a	0.49±0.0090 ^{bac}
Pemuxtitl, Hgo.	0.0118±0.0007 ^d	11.91±0.69 ^{de}	85231±4389.61 ^b	5.10±0.069 ^{hg}	2.75±0.0497 ^{dc}	0.54±0.0127 ^{bac}
Villahermosa, Hgo.	0.0118±0.0007 ^d	13.27±1.26 ^{dec}	78476±6694.77 ^{cbd}	5.86±0.102 ^{dc}	2.58±0.0453 ^d	0.44±0.0121 ^{bc}
Metepec, Méx.	0.0155±0.0005 ^{bac}	15.46±0.54 ^{bac}	65075±2322.66 ^{fed}	6.03±0.105 ^{dc}	3.02±0.0692 ^{bac}	0.50±0.0119 ^{bac}
Valle Verde, Qro.	0.014±0.00068 ^{bdc}	13.80±0.66 ^{dec}	72998±3697.07 ^{feebd}	5.98±0.073 ^{dec}	3.01±0.0652 ^{bac}	0.50±0.0094 ^{bac}
Xodhé, Hgo.	0.012±0.00044 ^{dc}	8.26±0.26 ^f	121585±3883.22 ^a	4.97±0.074 ^h	2.75±0.0409 ^{dc}	0.55±0.0120 ^{ba}
Xochicoatlán, Hgo.	0.0123±0.00055 ^{dc}	12.18±0.24 ^{de}	82236±1546.79 ^{cb}	4.91±0.068 ^h	2.76±0.0408 ^{dc}	0.56±0.0102 ^a
Cebada, Hgo.	0.0175±0.0007 ^{ba}	17.08±0.38 ^{ba}	58679±1358.30 ^{fe}	6.59±0.124 ^{ba}	3.13±0.0462 ^a	0.45±0.0207 ^{bac}
El Piñón, Hgo.	0.0135±0.0006 ^{cd}	13.62±0.71 ^{dec}	74461±4113.13 ^{cebd}	5.14±0.067 ^{hg}	2.59±0.0350 ^d	0.50±0.0092 ^{bac}
El Madroño, Qro.	0.0141±0.0010 ^{bdac}	13.001±0.02 ^{dec}	77124±1834.27 ^{cbd}	6.76±0.160 ^a	3.09±0.0460 ^{ba}	0.46±0.0206 ^{bac}
Molango, Hgo.	0.012±0.00076 ^{dc}	13.04 ± 0.45 ^{dec}	77156±2322.66 ^{cbd}	5.24±0.054 ^{hg}	2.75±0.0504 ^{dc}	0.52±0.0092 ^{bac}
Cieneguilla, Hgo.	0.0118±0.0006 ^d	13.42 ± 0.65 ^{dec}	75372±3615.26 ^{cbd}	6.25±0.131 ^{bdc}	2.70±0.0386 ^d	0.43±0.0092 ^c
Laguna Seca, Hgo.	0.012±0.0007 ^{dc}	12.39 ± 0.62 ^{dec}	81653±3952.41 ^{cbd}	5.77±0.093 ^{fde}	2.59±0.0472 ^d	0.45±0.0111 ^{bc}
Malila, Hgo.	0.0116±0.0003 ^d	11.63 ± 0.24 ^c	86156±1766.15 ^b	5.34±0.049 ^{fhg}	2.69±0.0650 ^d	0.50±0.0122 ^{bac}

Valores promedios ± error estándar, n = 6-25. Letras diferentes en las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Estos hallazgos son consistentes con los resultados de Rodríguez-Laguna et al. (2012), quienes también encontraron variaciones significativas en el tamaño de las semillas de *P. greggii* Engelm. ex Parl. en función de su procedencia y las condiciones del suelo. La relación entre el tamaño y la procedencia muestra que factores ambientales pueden influir en las características morfológicas, lo que a su vez podría impactar el crecimiento y la adaptación en diferentes condiciones.

Mendoza-Pedroza et al. (2023) demostraron que semillas más grandes de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. generaron plántulas de mayor altura, diámetro y acumulación de biomasa, lo que se traduce en una mayor capacidad de supervivencia y crecimiento en condiciones adversas. Aunque el estudio se realizó en una especie diferente, el principio fisiológico es aplicable a especies forestales como *P. greggii* Engelm. ex Parl. donde las más grandes pueden conferir ventajas adaptativas similares. Por lo tanto, las diferencias observadas entre procedencias demuestran que la

selección de procedencias con semillas más grandes puede mejorar la calidad y éxito de los programas de reforestación y mejoramiento genético.

Bhat et al. (2015) encontraron que las dimensiones más altas para la longitud (10.05 mm) y ancho (5.38 mm) de las semillas de *P. wallichiana* A. B. Jacks. se registraron en rangos altitudinales más bajos (1600-2400 m) y conforme aumentaba la altitud, los valores, contrario a este estudio donde las más largas se obtuvieron a una altitud baja (1200 m) y las más anchas se obtuvieron a 2090 m, lo que demuestra que la altitud, aunque es un factor determinante no siempre se relaciona con las dimensiones de las semillas.

La variabilidad en el tamaño es crucial para su adaptación en distintos entornos, como señalan Rubio-Licona et al. (2011) y Manning et al. (2009) que las semillas más grandes tienden a tener una mayor supervivencia en diversas condiciones ambientales, en este caso El Madroño con diámetro ecuatorial de 6.76 mm y Cebada con un diámetro polar de 3.13 mm fueron las más

grandes, lo que indica una mayor capacidad de adaptación y supervivencia en ambientes más difíciles en comparación con Xochicoatlán que presentó diámetros menores (4.97 mm y 4.91 mm), lo que podría indicar una menor resiliencia en condiciones adversas. Estos hallazgos son coherentes con las observaciones de Bareke (2018), quien señala que el tamaño de las semillas está relacionado con su desarrollo y fisiología de germinación, donde las más grandes tienden a tener ventajas en términos de recursos almacenados, lo que les permite superar condiciones desfavorables durante la germinación y el establecimiento. Por lo tanto, la diferencia en los diámetros de las semillas podría ser un factor clave que influya en la capacidad de adaptación y supervivencia de las plántulas en entornos desafiantes.

En la localidad de Carrizal Chico, Zacualpán Veracruz, Morante-Carriel et al. (2005), reportaron valores de longitudes de 5.12–7.84 mm, anchos de 2.69–4.09 mm y pesos de 0.0190–0.0294 g. En el presente estudio, se obtuvieron valores ligeramente superiores con longitudes de 4.91 mm a 6.76 mm y anchos de 2.59 mm a 3.10 mm. Estas diferencias se deben a que en este estudio se emplearon solo semillas de *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue & López, la cual tiende a presentar semillas de mayor tamaño en comparación con las de ambas variedades consideradas en el estudio de referencia.

Viabilidad

Las procedencias de El Madroño y Metepec mostraron el mayor porcentaje de semillas teñidas, con un 83 % (**Figura 2**) a pesar de haber transcurrido 20 años de almacenamiento aún se siguen conservando lo que demuestra una viabilidad potencial superior en estas poblaciones; en el caso de Metepec proveniente de un huerto semillero las plantas se manejan con énfasis en la producción de semillas de calidad que incluye técnicas de polinización controlada, fertilización adecuada y control de plagas que mejoran a grandes rasgos la viabilidad (López-López et al., 2019). En contraste, Molango (3 %) presentó un porcentaje significativamente bajo. Por otro lado,

en Xhodhé, se observó que el 100 % no mostraron evidencias de teñido, lo que es evidente que el embrión está muerto o dañado.

La viabilidad es un indicador clave de la capacidad de germinación, ya que una semilla viable posee estructuras internas funcionales que le permiten iniciar el proceso germinativo (Bewley et al., 2013), la calidad y viabilidad disminuye con el tiempo y bajo condiciones desfavorables, como alta humedad o contaminación por hongos (Vázquez-López et al., 2021). En especies forestales puede conservarse durante períodos prolongados de entre 5 años y 10 años mediante técnicas de almacenamiento apropiadas, donde los elementos más determinantes son la temperatura y el nivel de humedad (Bonilla-Vichot, 2014). Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias en la viabilidad según su procedencia, esta variabilidad indica que no todas las semillas de *P. greggii* Engelm. ex Parl. tienen la misma capacidad de conservación, por ello, aunque la viabilidad es un factor determinante para la germinación, su impacto puede variar dependiendo del origen, así como de factores fisiológicos y ambientales (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006). López-López et al. (2019) mencionan que las semillas se deben guardar con fungicidas como Captán®, sellados y refrigerados por un periodo de 3 años, realizando prueba de germinación cada seis meses y almacenar solo los lotes que tengan un porcentaje mayor al 85 % evitando cambios bruscos en el voltaje de la corriente que suministra energía al refrigerador.

Imbibición

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la imbibición de las semillas de *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *australis* Donahue & López entre procedencias, a través del tiempo y en la interacción tiempo-procedencia.

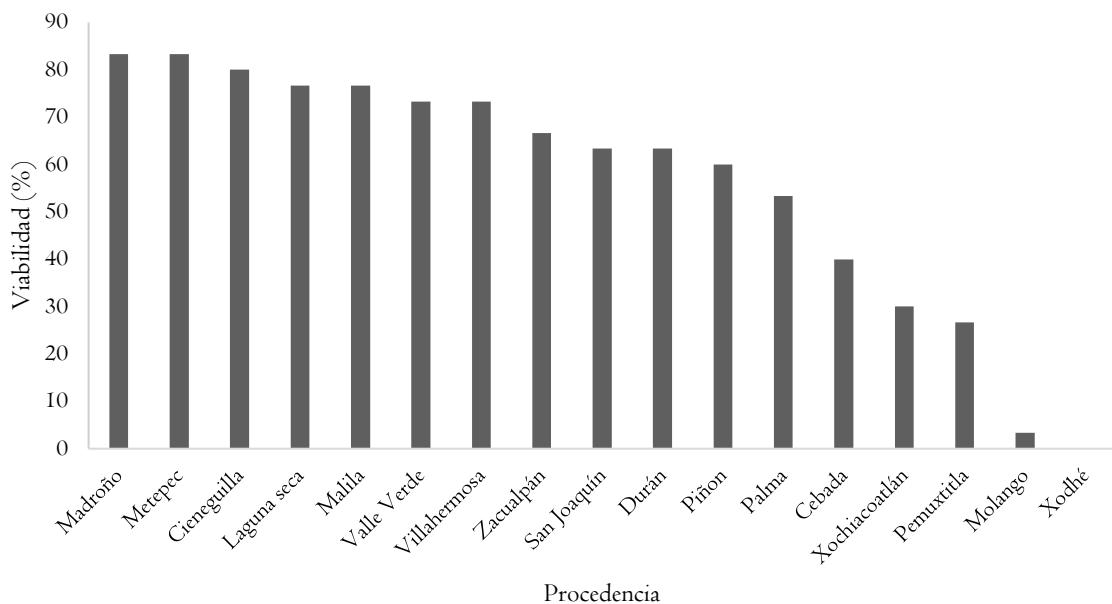


Figura 2. Viabilidad de semillas de *Pinus greggii* var. *australis* de 17 procedencias, error estándar= 6.70 %.

La Palma registró el peso inicial más alto, (1 g) mientras que Malila inició con el más bajo (0.54 g) (**Figura 3**); de acuerdo con Monroy-Vázquez et al. (2017) las semillas más viables y vigorosas pueden absorber más agua durante la imbibición, lo que puede estar relacionado con un mayor potencial para germinar y crecer, sin embargo, la imbibición puede ocurrir en semillas no viables por lo que, este fenómeno no asegura la germinación (Azcón-Bieto & Talón, 2000). Las semillas más pesadas absorben más agua principalmente porque tienen un mayor volumen y cantidad de tejido, lo que implica más espacios celulares y estructuras internas para retener y almacenar agua durante la imbibición como el caso de La Palma que presentó el peso por semilla más alto en comparación con Malila que fue el más bajo (**Tabla 3**), Hernández-Anguiano et al. (2018) encontraron que las semillas con mayor tamaño y menor grosor de testa en *P. cembroides* Zucc. y *P. orizabensis* D. K. Bailey & Hawksworth presentaron una mayor tasa y cantidad de absorción de agua durante la imbibición, lo que explica que las semillas más pesadas absorban más agua comparadas con las más pequeñas.

En las primeras horas de imbibición las semillas absorbieron más agua como el caso de Metepec que aumentó de 0.63 g de la hora cero a 1.03 g en la hora seis, lo que representa un incremento del 63.5 %. Malila fue el primero que mostró un peso constante después de 8 h y después de las 18 h subió de forma gradual al igual que Molango solo que después de 12 h comenzó a subir de forma gradual. Por su parte, Zacualpan mostró estabilidad después de haber transcurrido 12 h. Metepec, Xodé, Cieneguilla y Laguna seca mantuvieron un peso constante por 4 h.

Zacualpan fue el primero que obtuvo un peso estable desde las 12 h, seguido de San Joaquín desde la h 16. Duran fue la procedencia que tuvo más variaciones en el peso a través del tiempo sin llegar a estabilizarse. La Palma y Valle Verde obtuvieron un peso estable desde las 18 h, Pemuxtitla estabilizó su peso en la h 18 y subió de nuevo en la h 20, según López-Upton & Escobar-Alonso (2021) para iniciar la germinación y garantizar una emergencia uniforme, la semilla de esta especie debe ser sumergida entre 18 h y 24 h, ya que permite que alcancen su máxima hidratación, lo que favorece su proceso de germinación (**Tabla 4**).

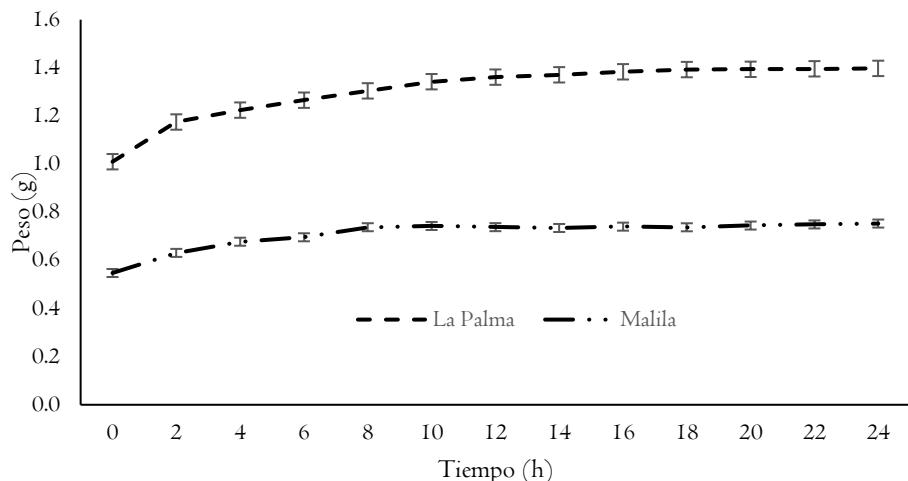


Figura 3. Imbibición de semillas de *Pinus greggii* var. *australis* durante 24 h: comparación de la procedencia con mayor y menor peso inicial. Las líneas verticales indican el error estándar ($n = 510$).

Tabla 4. Peso de las semillas de *Pinus greggii* var. *australis* desde la hora 0 hasta las 24 horas.

Procedencia	H0	H2	H8	HI2	HI8
San Joaquín, Qro.	0.79±0.05 ^{bac}	0.92±0.07 ^{bcd}	1.03±0.08 ^{bed}	1.07±0.08 ^{bed}	1.11±0.09 ^{bdec}
La Palma, Hgo.	1±0.16 ^a	1.17±0.15 ^a	1.30±0.11 ^a	1.36±0.13 ^a	1.39±0.16 ^a
Zacualpan, Ver.	0.71±0.09 ^{bdc}	0.81±0.12 ^{bdc}	0.92±0.14 ^{bcd}	0.95±0.14 ^{bcd}	0.95±0.14 ^{bdc}
Los Duran, Qro.	0.67±0.02 ^{bdc}	0.77±0.03 ^{bdc}	0.86±0.03 ^{ecd}	0.89±0.03 ^{ecd}	0.92±0.03 ^{dec}
Pemuxtitla, Hgo.	0.63±0.01 ^{bdc}	0.72±0.01 ^{dc}	0.81±0.02 ^{ecd}	0.84±0.02 ^{ecd}	0.85±0.01 ^{dec}
Villahermosa, Hgo.	0.79±0.03 ^{bc}	0.90±0.01 ^{bc}	0.99±0.03 ^{bcd}	1.03±0.02 ^{fed}	1.07±0.05 ^{bdc}
Metepec, Méx.	0.63±0.007 ^{bdc}	0.93±0.07 ^{bac}	1.04±0.08 ^{bc}	1.08±0.06 ^{bcd}	1.08±0.05 ^{bdc}
Valle Verde, Qro.	0.81±0.01 ^{ba}	0.94±0.01 ^{bac}	1.03±0.02 ^{bcd}	1.10±0.02 ^{bc}	1.11±0.02 ^{bac}
Xodhé, Hgo.	0.58±0.04 ^{dc}	0.70±0.05 ^{dc}	0.83±0.07 ^{ecd}	0.85±0.09 ^{ed}	0.89±0.08 ^{dec}
Xochicoatlán, Hgo.	0.60±0.01 ^{dc}	0.70±0.002 ^{dc}	0.80±0.03 ^{ed}	0.82±0.04 ^{ed}	0.82±0.02 ^{de}
Cebada, Hgo.	0.85±0.01 ^{ba}	0.97±0.03 ^{ba}	1.13±0.02 ^{ba}	1.19±0.02 ^{ba}	1.21±0.03 ^{ba}
El Piñón, Hgo.	0.75±0.02 ^{bdc}	0.87±0.02 ^{bc}	1±0.03 ^{bcd}	1.04±0.02 ^{bcd}	1.02±0.04 ^{bdc}
El madroño, Qro.	0.68±0.005 ^{bdc}	0.77±0.007 ^{bdc}	0.87±0.002 ^{ecd}	0.91±0.007 ^{ecd}	0.93±0.01 ^{bdc}
Molango, Hgo.	0.66±0.03 ^{bdc}	0.77±0.05 ^{bdc}	0.88±0.03 ^{ecd}	0.88±0.05 ^{ecd}	0.91±0.07 ^{dec}
Cieneguilla, Hgo.	0.64±0.02 ^{bdc}	0.72±0.02 ^{dc}	0.80±0.03 ^{ed}	0.82±0.03 ^{ed}	0.85±0.03 ^{dec}
Laguna Seca, Hgo.	0.68±0.04 ^{bdc}	0.79±0.03 ^{bdc}	0.89±0.03 ^{bcd}	0.91±0.05 ^{ecd}	0.91±0.03 ^{dec}
Malila, Hgo.	0.54±0.004 ^d	0.63±0.007 ^d	0.73±0.009 ^e	0.73±0.004 ^e	0.73±0.001 ^e

H = hora. Los datos con letras distintas en las columnas presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Media ± desviación estándar, $n = 2$.

Conclusiones

La calidad de las semillas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl de diferentes procedencias reveló variaciones significativas en sus características morfológicas. La Palma, Hidalgo proveniente de 2 700 m destacó en peso por semilla, peso de 1 000

semillas, además presentó la mejor capacidad de imbibición, Xhodé obtuvo el mayor número de semillas por kg mientras que El Madroño y Metepec a pesar de 20 años de almacenamiento, mostraron el porcentaje más alto de semillas teñidas, lo que muestra una buena conservación. Esta variabilidad resalta la importancia de

seleccionar las procedencias de forma adecuada para optimizar los programas de reforestación, ya que algunas pueden ofrecer ventajas significativas en germinación y establecimiento.

Referencias

- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. O., & Rojas-Pérez, G. (2006). Variación en semillas de *Pinus greggii* Engelm. En el municipio de Naolinco, Veracruz, México. *Forest Veracruzana*, 8(2), 7-12.
- Alba-Landa, J., Cruz-Jiménez, H., Mundo-Zamora, J. E. & Ramírez-García, E. (2009). Diseño y establecimiento de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus greggii* Engelm. *Forest Veracruzana*, 11(1), 39-42.
- Avendaño-López, A., Quintana-Camargo, M., Padilla-García, J., & Arriaga-Ruiz, M. (2015). Análisis de semilla de *Pinus devoniensis* con rayos X. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 2(4), 556-560.
- Azamar-Oviedo, M., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., & Plancarte-Barrera, A. (2000). *Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de Pinus greggii y su conversión a huerto semillero*. In: Ier Congreso Nacional de Reforestación. Montecillo, Méx. 08-10 Nov. Memorias in extenso.
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. (pp. 522). Editorial Mc Graw Hill Interamericana.
- Bareke, T. (2018). Biology of seed development and germination physiology. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 8(4), 336-346. <https://doi.org/10.15406/apar.2018.08.00335>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. & Nonogaki, H. (2013). Longevity, Storage, and Deterioration. En N. Bewley, J. D., Bradford, K., & Hilhorst, H. (Ed.), *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. (pp. 341-376). Editorial Springer, https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_8
- Bhat, G., Mughal, A., Malik, A., Khan, P., Sofi, P., Islam, M., Singh, A. & Shazmeen, Q. (2015). Altitudinal variation in different seed source of *Pinus wallichiana* under temperate conditions of Kashmir. *The Bioscan*, 9(4), 677-681.
- Bonilla-Vichot, M. (2014). Variación del peso y viabilidad de las semillas de *Pinus tropicalis* para diferentes procedencias. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2(1), 10.
- Castilleja-Sánchez, P., Delgado-Valerio, P., Sáenz-Romero, C. & Herreras-Diego, Y. (2016). Reproductive success and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, two endemic Mexican pines under threat. *Forests*, 7(8), 178. <https://doi.org/10.3390/f7080178>
- Da-Eun, G., Sim-Hee, H. & Kyu-Suk, K. (2024). Viability and integrity of *Pinus densiflora* seeds stored for 20 years at three different temperatures. *Conservation Physiology*, 12(1), coae046. <https://doi.org/10.1093/conphys/coae046>
- Donahue, J. & López-Upton, J. (1999). A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in Mexico. *SIDA, Contributions to Botany*, 18(4), 1083-1093. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16428307>
- Finch-Savage, W. E. & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501-523. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Frischie, S., Miller, A. L., Pedrini, S. & Kildisheva, O. A. (2020). Ensuring seed quality in ecological restoration: Native seed cleaning and testing. *Restoration Ecology*, 28, S239-S248. <https://doi.org/10.1111/rec.13217>
- Galicia, L., Potvin, C. & Messier, C. (2015). Maintaining the high diversity of pine and oak species in Mexican temperate forests: A new management approach combining functional zoning and ecosystem adaptability. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(10), 1358-1368. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-056>
- Gough, R. (2020). *Seed quality: Basic mechanisms and agricultural implications*. Editorial CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003075226>

- Hauke-Kowalska, M., Borowiak, E., Barzdajn, W., Kowalkwski, W., Korzeniewicz, R. & Wawro, T. (2019). Cone and seeds variability in seed orchards and seed stands of *Pinus sylvestris* L. *Baltic Forestry*, 25(2), 187-192. <https://doi.org/10.46490/vol25iss2pp187>
- Hernández-Anguiano, L. A., López-Upton, 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.
- International Seed Testing Association. (Ista). (2024). *International Rules for Seed Testing* (Edition 2024). ISTA. www.seedtest.org
- Jordan, R., Breed, M. F., Prober, S. M., Miller, A. D. & Hoffmann, A. A. (2019). How well do revegetation plantings capture genetic diversity? *Biology Letters*, 15(10), 20190460. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0460>
- Khan, M. & Shankar, U. (2001). Effect of seed weight, light regime and substratum microsite on germination and seedling growth of *Quercus semiserrata* Roxb. *Tropical Ecology*, 42(1), 117-125.
- López-López, J. Á., García-Reyes, R. & Villalvazo-Núñez, J. (2019). *Manejo de un huerto semillero y banco clonal de Pinus douglasiana Martínez en Jalisco*. Editorial Universitario.
- López-Upton, J. & Escobar-Alonso, S. (2021). *Pinus greggii* Engelmann ex Parlatore (Pinaceae). En N. Rodríguez-Trejo, D. A. (Ed.), *Semillas de Especies Forestales*. (pp. 201-207). División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
- Maldonado-Peralta, M. A., De los Santos-García, G., García-Nava, J. R., Ramírez-Herrera, C., Hernández-Livera, A., Valdez-Carrazco, J. M., Corona-Torres, T. & Cetina-Alcalá, V. M. (2016). Seed viability and vigour of two nanche species (*Malpighia mexicana* and *Byrsinima crassifolia*). *Seed Science and Technology*, 44(1), 168-176. <https://doi.org/10.15258/sst.2016.44.1.03>
- Manning, P., Houston, K. & Evans, T. (2009). Shifts in seed size across experimental nitrogen enrichment and plant density gradients. *Basic and Applied Ecology*, 10(4), 300-308. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2008.08.004>
- Martínez-Hernández, J., López-Upton, J., Hernández-Vargas, J. J. & Jasso-Mata, J. (2007). Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* en Hidalgo, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), 241-249.
- Mendizábal-Hernández, L. del C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García, E. O., Ramírez-Márquez J. & Cruz-Jiménez, H. (2015). Estudio de germinación de cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm. *Forestal Veracruzana*, 17(1), 49-56.
- Mendoza-Pedroza, S. I., Méndez-Gaona, E., Pérez-Cruz, K. U., Hernández-Livera, A., Escalante-Estrada, J. A. S. & Domínguez-Martínez, P. A. (2023). Tamaño de semilla y su efecto sobre el crecimiento de plántulas de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4A), 497-497. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4A.497>
- Milberg, P., Andersson, L., Elfverson, C. & Regner, S. (1996). Germination characteristics of seeds differing in mass. *Seed Science Research*, 6(4), 191-198. <https://doi.org/10.1017/S0960258500003251>
- Monroy-Vázquez, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, J. R., Solano-Camacho, E., Campos, H. & García-Villanueva, E. (2017). Imbibición, viabilidad y vigor de semillas de cuatro especies de *Opuntia* con grado distinto de domesticación. *Agrociencia*, 51(1), 27-42.
- Morante-Carriel, J., Alba-Landa, J. & Mendizábal-Hernández, L. del C. (2005). Estudio de conos, semillas y plántulas de *Pinus greggii* Engelm. de una población del estado de Veracruz, México. *Forestal Veracruzana*, 7(2), 23-31.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J., Gómez-Cárdenas, M., Hernández-Ramos, J. & Barrera-Ramírez, R. (2023). Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria*, 33, e3549. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3549>

- Ortiz-Mendoza, R., Aguirre-Calderón, O. A., Gómez-Cárdenas, M., Treviño-Garza, E. J., & González-Tagle, M. A. (2021). Crecimiento de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. en suelos degradados de la Mixteca Alta, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64), 4-22. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.710>
- Pastorino, M., & Gallo, L. (2000). Variación geográfica en peso de semilla en poblaciones naturales argentinas de "Ciprés de la Cordillera". *Bosque*, 21(2), 95-109. <https://doi.org/10.4206/bosque.2000.v21n2-08>
- 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-Laguna, R., Valencia-Manzo, S., Meza-Rangel, J., Capó-Arteaga, M. Á. & Reynoso-Pérez, A. (2008). Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 19-26.
- Rubio-Licona, L. E., Romero-Rangel, S., Rojas-Zenteno, E. C., Durán-Díaz, Á. & Gutiérrez-Guzmán, J. C. (2011). Variación del tamaño de frutos y semillas en siete especies de encino (*Quercus*, *Fagaceae*). *Polibotánica*, 32, 135-151.
- Sánchez-Mendoza, J. L., Jiménez Casas, M., Ramírez Herrera, C. & Viveros Viveros, H. (2023). Seed quality and plant growth in populations and altitudes of *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(75), 143-165. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i75.1297>
- Sáenz, R., Muñoz, F., & Rueda, S. (2011). *Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Institute SAS. (2024). The SAS system for Windows user's guide. Release 9.4. SAS Institute, Cary, NC.
- Simoes-Macayo, N. & Renison, D. (2015). ¿Cuántos años monitorear el éxito de plantaciones con fines de restauración?: Análisis en relación al micrositio y procedencia de las semillas. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 315-322. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200016>
- Vázquez-López, M. S., Vázquez-Badillo, M. E., Antonio-Bautista, A., & Mancera-Rico, A. (2021). Hongos en semillas de *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. Almacenadas bajo dos humedades relativas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(66), 165-180. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.689>
- Viveros-Viveros, H., Tapia-Olivares, B. L. & Sáenz-Romero, C. (2014). Variación isoenzimática de *Pinus pseudostrobus* Lindl. a lo largo de un gradiente altitudinal en Michoacán, México. *Agrociencia*, 48(7), 713-723.