



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.710>

Artículo

Crecimiento de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en suelos degradados de la Mixteca Alta, Oaxaca
Growth of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. provenances on degraded soils of the *Mixteca Alta*, Oaxaca State

Rubén Ortiz Mendoza¹, Oscar Alberto Aguirre Calderón^{1*}, Martín Gómez Cárdenas², Eduardo Javier Treviño Garza¹ y Marco Aurelio González Tagle¹

Abstract

The growth of pines in eroded soils is limited by low organic matter. Knowing the growth of different origins of a species in degraded soils allows understanding its adaptability, and thus, favoring decision-making in subsequent reforestation. The aim of this work was to know the growth of 13 provenances of *Pinus greggii* var. *greggii* and *Pinus greggii* var. *australis* established on eroded soils of two localities of *Mixteca Alta* of Oaxaca. Height, normal diameter, basimetric diameter, and crown diameter were measured in 3 central trees for each experimental unit of 3 × 3 and 12 complete blocks at random. An ANOVA and Tukey's test were performed with a confidence level of 95 % for the comparison of means. After 17 years of plantation, survival was 89 %. The greater average growth was in var. *australis* with a height of 10.99 m in the provenance *El Madroño, Qro.* and in *El Piñón, Hgo.*, with a greater average growth of basimetric diameter with 20.33 cm, normal diameter with 15.88 cm, crown diameter with 4.52 m and crown area with 17.81 m² tree⁻¹. Results indicate the existence of an interaction effect of provenance growth in each locality. The provenances of var. *australis* indicate to be the most appropriate in reforestation of eroded soils in Oaxaca.

Key words: Erosion, *Mixteca Alta*, *Pinus greggii* var *australis* Donahue & López, *Pinus greggii* var. *greggii* Engelm., plantation, reforestation.

Resumen

El crecimiento de los pinos en suelos erosionados es limitado, por la existencia de poca materia orgánica. Conocer el crecimiento de diferentes procedencias de una especie en suelos degradados permite entender su adaptabilidad, lo que favorece la toma de decisiones en reforestaciones posteriores. El objetivo del presente trabajo fue conocer el crecimiento de 13 procedencias de *Pinus greggii* var. *greggii* y *Pinus greggii* var. *australis* establecidas en suelos erosionados de dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca. Se midió la altura, diámetro normal, diámetro basal y diámetro de copa en tres árboles centrales por cada unidad experimental de 3 × 3; se utilizó un diseño de 12 boques completos al azar. Se realizó un ANOVA y prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95 % para la comparación de medias. Después de 17 años de la plantación, la supervivencia fue de 89 %. El mayor crecimiento promedio se registró en *P. greggii* var. *australis*, con una altura de 10.99 m en la procedencia *El Madroño, Qro.*; y en la de *El Piñón, Hgo.*, con mayor crecimiento promedio de diámetro basal (20.33 cm), diámetro normal de 15.88 cm, diámetro de copa con 4.52 m y área de copa con 17.81 m² árbol⁻¹. Los resultados indican la existencia de un efecto de interacción del crecimiento de procedencias en cada localidad. Las procedencias de la variedad *australis* son las más apropiadas para las reforestaciones de suelos erosionados de Oaxaca.

Palabras clave: Erosión, Mixteca alta, *Pinus greggii* var *australis* Donahue & López, *Pinus greggii* var. *greggii* Engelm., plantación, reforestación.

Fecha de recepción/Reception date: 10 de diciembre de 2019
Fecha de aceptación/Acceptance date: 24 de noviembre de 2020

¹Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

²Campo Experimental Uruapan, Michoacán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

*Autor por correspondencia: oscar.aguirrecl@uanl.edu.mx

Introducción

Las coníferas son componentes dominantes de la vegetación en México; no obstante, su distribución es afectada por la erosión del suelo (Cardoza *et al.*, 2007; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). La pérdida de grandes cantidades de suelos por erosión hídrica, eólica y antrópica se acelera, ya que disminuye el potencial del suelo para el desarrollo de las plantas (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2003; Guerrero *et al.*, 2010).

Para reducir la erosión se realizan ensayos de procedencias, en los que se identifican especies que se adapten a las condiciones de los suelos erosionados. En ellos, se evalúa el crecimiento y la adaptación de las plantas de acuerdo a las regiones geográficas, así como la variación del crecimiento entre rodales e individuos (Zitácuaro y Aparicio, 2004; White *et al.*, 2007). De igual manera, se utilizan para conservar genes sostenibles biológica y económicamente (Chhin *et al.*, 2018).

En el proceso de crecimiento de los árboles durante el ensayo, la interacción entre las condiciones ambientales prevalecientes y el genotipo definen el fenotipo con características del componente heredable y el medio donde crece el árbol (Climent *et al.*, 2002; White *et al.*, 2007). Las condiciones ambientales tienen una influencia en el aumento de tejidos por la división celular, el alargamiento y engrosamiento de los meristemas, así como en las características genotípicas del árbol (Klepac, 1983; Gadow *et al.*, 2007; Imaña y Encinas, 2008).

En suelos erosionados se realizan ensayos con *Pinus* sp., por su adaptación estructural y funcional, y porque en donde se establecen, se optimiza la economía del agua y su potencial de mejorar el suelo, además de que son costeables y fáciles de manejar en vivero (Alía *et al.*, 1999; López *et al.*, 2004). Una de las especies con estos atributos es *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. (Gómez *et al.*, 2012); por lo tanto, conocer el crecimiento de las procedencias de ejemplares de mayor edad permite evaluar su variación en función del tiempo (López *et al.*, 2004). Además, en comparación con *P. oaxacana* Mirov, especie nativa de la región donde se realizó este trabajo (López *et al.*, 2017), aporta mayor

cantidad de hojarasca al suelo, lo que sugiere su potencial para desarrollar plantaciones en suelos degradados.

En la región de la Mixteca Alta en el estado de Oaxaca, se emplea *Pinus greggii* para reforestaciones en áreas erosionadas; taxón se distribuye, naturalmente, en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz y Puebla (Perry, 1991). El presente estudio tuvo como objetivo analizar el crecimiento de 13 procedencias de *P. greggii* establecidas en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca para conocer su respuesta, a partir de su crecimiento en altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en dos parcelas ubicadas en la Mixteca Alta, específicamente, en las localidades de Magdalena Zahuatlán y Tlacotepec Plumas.

La parcela de Tlacotepec Plumas se localiza entre los 17°52'11.02" N y 97°26'16.97" O a 2 143 msn; cuyo clima es templado semiseco, con temperatura media anual de 16 °C, precipitación promedio de 420.8 a 650 mm; los suelos tienen un pH de 7.66, contenido de materia orgánica de 2.80 %, fósforo de 16.50 mg kg⁻¹ y nitrógeno de 0.16 % (Sedesol-CIBCEC, 2003).

Magdalena Zahuatlán se ubica a 17°24'14.97" N y 97°12' 32.22" O, con 2 166 msnm. El clima en el lugar es templado semiseco, con temperatura media anual de 15 °C, precipitación promedio de 650; los suelos tienen un pH de 8.12, contenido de materia orgánica de 2.68 %, fósforo de 13.1 mg kg⁻¹ y nitrógeno de 0.08 % (Valencia *et al.*, 2006; INEGI, 2010; Velasco *et al.*, 2012).

Material experimental

En el plano de la plantación proporcionado por el INIFAP-Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, se precisó la distribución de las procedencias dentro de la parcela. Las plantaciones se establecieron en 1997, con 13 procedencias de *P. greggii*, de las cuales seis crecen naturalmente en el norte de México (*P. greggii* var. *greggii* Engelm.) y siete en el centro de México (*P. greggii* var. *australis* Donahue & López) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características ambientales de las procedencias evaluadas de *Pinus greggii* Engelm.

Procedencia	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (msnm)	T. (°C)	PP. (mm)	pH de suelo
1. Puerto Los conejos, Coahuila ^g	25°28'	100°34'	2 450	16	600	6.0
2. Santa Anita, Coahuila ^g	25°27'	100°34'	2 500	16	600	6.8
3. Puerto San Juan, Coahuila ^g	25°25'	100°33'	2 650	16	600	6.1
4. Los Lirios, Coahuila ^g	25°23'	100°34'	2 400	16	600	7.4
5. Jamé, Coahuila ^g	25°21'	100°36'	2 450	16	600	7.2
6. Galeana, Nuevo León ^g	24°56'	100°10'	2 100	15	650	7.1
7. El Madroño, Querétaro ^a	21°16'	99°10'	1 650	17	737	4.5
8. Tres Lagunas, Querétaro ^a	21°20'	90°08'	-	17	722.8	-
9. El Piñón, Hidalgo ^a	20°56'	99°12'	1 830	17	700	6.2
Con una antigüedad de 10. Laguna Atezca, Hidalgo ^a	20°49'	98°46'	1 330	20	1 438	4.5
11. Molango, Hidalgo ^a	20°48'	98°46'	1 200	17	1 750	4.4
12. Xichicoatlán, Hidalgo ^a	20°47'	98°40'	1 700	17	1 625	4.5
13. Zimapán, Hidalgo ^a	20°46'	99°23'	1 850	17	1 100	6.0

msnm = Metros sobre el nivel del mar; T = Temperatura; °C = Grados centígrados; PP = Precipitación medio anual; mm = milímetros; ^g = *Pinus greggii* var. *greggii*; ^a = *Pinus greggii* var. *australis*.

La plantación se realizó en un sistema de cepa común de 40 × 40 × 40 cm, con arreglo tresbolillo a una separación de 3 m, con un diseño experimental de bloques completos al azar con 12 bloques (repeticiones) y nueve plantas por unidad experimental (3 × 3), para un total de 1 404 árboles por localidad.

Medición de parámetros de crecimiento

Las plantaciones de interés tienen una antigüedad de 17 años. Se seleccionaron los tres árboles centrales de la unidad experimental, los cuales presentaban menores efectos de competencia con los árboles de otras procedencias. A cada uno se le midió la altura con una pistola *Haga*, el diámetro normal a 1.30 m del suelo y diámetro basal a 10 cm del suelo con una cinta diamétrica *Forestry Suppliers* Modelo 283D/5M y el diámetro de copa con dos mediciones, una en dirección norte-sur y otra en dirección este-oeste con una cinta métrica *Spencer Logger's* Modelo 975DC. En total se midieron 36 árboles por procedencia y localidad, para un total de 468 árboles por localidad. Se registró la presencia de árbol muerto o cepa sin árbol con esos datos se calculó la supervivencia. A partir del diámetro de copa, se determinó el área de copa para cada individuo.

Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza, mediante un modelo para bloques completos al azar para comparar las medias de la altura, diámetro normal, diámetro basal, diámetro de copa y área de copa entre procedencias y localidades. Al definirse diferencias significativas, se aplicó la prueba de *Tukey* con un nivel de confianza de 95 % para la comparación de medias. Se usó el programa R con la librería *agricolae* versión 1.2-3 (Mendiburu, 2015). Los datos de supervivencia se transformaron con la función $\arcsin(\sqrt{p})$ para una homoscedasticidad y normalidad en la que p corresponde a las proporciones de 0 a 1 (Zar, 1999).

$$y_{ijk} = \mu + L_i + P_j + B_k + LP_{ij} + LB_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = Valor de la observación en la i -ésima localidad, en la j -ésima procedencia del k -ésimo bloque

μ = Efecto de la media general

L_i = Efecto de la i -ésima localidad

P_j = Efecto de la j -ésima procedencia

B_k = Efecto del k -ésimo bloque

LP_{ij} = Efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la j -ésima procedencias

LB_{ij} = Efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y el j -ésimo bloque

E_{ijk} = Efecto de la interacción entre la i -ésima localidad de la j -ésima procedencias y del k -ésimo bloque (error experimental)

Resultados y Discusión

A los 17 años de establecimiento de la plantación, la supervivencia fue de 95.9 % en Tlacotepec Plumas y de 82.4 % en Magdalena Zahuatlán, con 89 % promedio entre ambas localidades. La pendiente de las parcelas, probablemente, influyó en el crecimiento entre localidades, como lo constataron Gómez *et al.* (2012) al reconocer variación de supervivencia en diferentes pendientes.



La mayor supervivencia se presentó en *P. greggii* var. *australis* procedente de Zimapán, Hgo. (97.7 %); mientras que, en *P. greggii* var. *greggii* correspondió a la de Puerto San Juan, Coah. (94.07 %). Estos datos son similares a los citados por Rodríguez *et al.* (2008) en Galeana, Nuevo León y por Gómez *et al.* (2012) quienes identificaron en áreas degradadas, *P. greggii* alcanzó 70 % de supervivencia, después de *P. cembroides* Zucc. y *P. devoniana* Lindl. con 80 y 90 %, respectivamente.

Diferencias entre localidades

El análisis estadístico demostró la existencia de diferencias significativas entre localidades ($p < 0.001$) en todas las variables evaluadas (Cuadro 2). En Magdalena Zahuatlán, las procedencias registraron una altura promedio de 7.18 ± 2.85 m, 14.07 ± 6.03 cm de diámetro basal, 10.55 ± 5.54 cm de diámetro normal, 3.48 ± 1.24 m de diámetro de copa y 10.74 ± 7.55 m² árbol⁻¹ para el área de copa. En Tlacotepec Plumas, el crecimiento promedio fue mayor, con una altura promedio de 10.50 ± 2.20 m, diámetro basal de 18.28 ± 5.48 cm, diámetro normal de 14.33 ± 4.64 cm, diámetro de copa 4.22 ± 1.13 m y 15.03 ± 8.03 m² árbol⁻¹ en área de copa.

Cuadro 2. Valores *F* observados y tamaño de efectos obtenidos de la comparación de medias entre localidades y procedencias.

Variables evaluadas	Entre localidades (<i>df</i> =1/468)		Entre procedencia (<i>df</i> =12/78)	
	<i>F</i>	Efecto	<i>F</i>	Efecto
Altura	538.52	0.41	24.16	0.27
Diámetro basal	143.61	0.16	16.31	0.20
Diámetro normal	144.76	0.16	12.74	0.16
Diámetro de copa	94.66	0.11	9.98	0.13
Área de copa	73.17	0.09	10.57	0.14

Los mayores registros de Tlacotepec Plumas sugieren mejor calidad del sitio para el crecimiento de las procedencias (Cuadro 3), lo cual coincide con López *et al.* (2017); y responde a la existencia de más acumulación de hojarasca en los suelos de Tlacotepec Plumas, comparación a los suelos de Magdalena Zahuatlán. El crecimiento se favoreció por la concentración de nitrógeno (50 % más) y 42 % de potasio más en los suelos de Tlacotepec Plumas (Velasco *et al.*, 2012), lo cual incidió de manera favorable en el crecimiento en altura y diámetro (Vázquez *et al.*, 2018).

Cuadro 3. Intervalo de valores de crecimiento en las localidades de estudio.

Variables evaluadas	Magdalena Zahuatlán	Tlacotepec Plumas
Altura (m)	1.00-13.50	3.00-16.00
Diámetro Basal (cm)	2.55-31.51	8.28-32.79
Diámetro Normal (cm)	0.64-28.01	1.91-26.74
Diámetro de Copa (m)	0.85-8.15	1.19-8.30
Área de copa (m ² árbol ⁻¹)	0.57-52.17	1.11-54.11

Diferencias entre procedencias

El crecimiento entre procedencias presentó diferencias significativas ($P < 0.001$) en todas las variables evaluadas (Cuadro 2). El análisis de las localidades en conjunto indicó un crecimiento superior de las procedencias de *Pinus greggii* var. *australis*. La procedencia con más crecimiento promedio en altura fue El Madroño, Qro. (10.99 ± 3.07 m); y en diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa, y área de copa, El Piñón Hgo. con valores de 20.33 ± 7.27 cm, 15.88 ± 6.32 cm, 4.52 ± 1.50 m y 17.81 ± 10.75 m² árbol⁻¹, respectivamente. Las procedencias de *P. greggii* var. *greggii* registraron altura promedio menor; el máximo crecimiento correspondió a los ejemplares de Puerto San Juan, Coah., con 8.86 ± 3.15 m en altura, 16.21 ± 7.47 cm en diámetro basal, 12.63 ± 6.57 cm en diámetro normal, 3.79 ± 1.44 m en diámetro de copa y 12.89 ± 10.06 m² árbol⁻¹ en el área de copa (cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Crecimiento de la altura y diámetro basal de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la Mixteca Alta, Oaxaca.

Procedencia	Altura				Diámetro basal			
	(m)				(cm)			
	MZ	TP	Prom.	G	MZ	TP	Prom.	G
El Madroño, Qro.	8.82	12.97	10.99±3.07	a	15.78	22.04	19.03±5.77	abc
El Piñón, Hgo.	8.35	12.23	10.35±3.30	ab	17.78	22.74	20.33±7.27	a
Zimapan, Hgo.	8.10	11.85	10.15±2.83	abc	16.21	21.91	19.32±6.18	ab
Molango, Hgo.	8.08	11.20	9.79±2.71	abcd	16.41	20.55	18.68±6.34	abc
Santa Anita, Coah.	7.82	9.07	8.50±1.97	efg	12.74	14.50	13.69±3.64	fgh
Tres Lagunas, Qro.	7.52	11.60	9.78±3.19	bcd	13.58	19.83	17.04±6.38	bcd
Puerto San Juan, Coah.	7.07	10.25	8.86±3.15	def	13.40	18.40	16.21±7.47	cdefg
Xichicotlán, Hgo.	6.98	10.96	9.14±2.90	cde	13.62	19.44	16.77±5.33	bcde
Laguna Atezca, Hgo.	6.82	11.20	9.29±2.81	bcde	12.94	19.39	16.58±5.66	bcdef
Jamé, Coah.	6.48	8.93	7.76±2.31	fg	14.21	14.60	14.41±4.42	defgh
Puerto Los Conejos, Coah.	5.95	8.68	7.45±2.07	gh	12.38	14.24	13.40±3.64	gh
Los Lirios, Coah.	5.50	8.64	7.28±2.65	gh	11.16	13.90	12.71±4.25	h
Galeana, N. L.	5.48	8.78	7.21±2.75	h	11.84	15.77	13.90±5.07	efgh

MZ = Magdalena Zahuatlán; TP = Tlacotepec Plumas; Prom = Promedio de las dos localidades; Qro = Querétaro; Hgo = Hidalgo; Coah = Coahuila; N. L. = Nuevo León; G = Grupos de crecimiento. Las letras indican grupos formados, mismas letras indican que las medias no son estadísticamente diferentes (Tukey $P < 0.05$).

Cuadro 5. Crecimiento del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la Mixteca Alta, Oaxaca.

Procedencia	Diámetro normal (cm)				Diámetro de copa (m)				Área de copa (m ² árbol ⁻¹)			
	MZ	TP	Prom.	G	MZ	TP	Prom.	G	MZ	TP	Prom.	G
EPH	13.88	17.76	15.88±6.32	a	4.14	4.87	4.52±1.50	a	15.84	19.67	17.81±10.75	a
MH	12.56	16.00	14.44±5.70	ab	4.12	4.59	4.38±1.16	ab	14.85	17.22	16.15±7.37	ab
ZH	12.44	16.48	14.68±5.37	ab	3.84	4.79	4.36±1.28	ab	12.70	19.10	16.26±9.03	ab
EMQ	11.95	17.81	15.02±4.99	ab	3.73	4.94	4.36±1.12	ab	11.72	19.79	15.94±7.42	ab
PSJC	10.10	14.60	12.63±6.57	bcd	3.42	4.07	3.79±1.44	bcd	10.88	14.46	12.89±10.06	bcd
JC	10.99	11.62	11.32±4.30	cde	3.51	3.61	3.56±0.86	cd	10.55	10.59	10.57±4.89	cd
SAC	9.93	11.38	10.71±3.46	cde	3.32	3.72	3.54±0.93	cd	9.55	11.33	10.51±5.25	cd
LAH.	9.46	15.20	12.70±5.17	bcd	3.30	4.32	3.88±1.08	abcd	9.39	15.34	12.75±6.62	bcd
TLQ	9.78	15.33	12.85±5.66	bc	3.20	4.63	3.99±1.53	abc	9.18	18.53	14.36±10.43	abc
LLC	8.31	10.82	9.73±4.17	e	3.22	3.57	3.42±1.03	cd	9.14	10.71	10.31±5.63	d
GNL	8.44	12.63	10.63±4.83	cde	3.12	3.60	3.37±1.11	cd	8.99	10.73	9.90±5.83	d
XH	9.57	15.36	12.65±4.94	bcd	3.24	4.56	3.94±1.12	abc	8.66	17.23	13.22±10.43	bcd
PLCC	9.02	11.07	10.14±3.39	de	2.94	3.55	3.28±0.85	d	7.50	10.27	9.02±4.36	d

MZ= Magdalena Zahuatlán; TP= Tlacotepec Plumas; EPH= El Piñón, Hgo.; MH= Molango, Hgo.; ZH= Zimapan, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; JC= Jamé, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; LLC= Los Lirios Coah.; GNL= Galenana N.L.; XH= Xichicotlán, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; Prom= Promedio de las dos parcelas; G= Grupos de crecimiento. Las letras indican grupos formados, mismas letras indican que las medias no son estadísticamente diferentes (Tukey $P<0.05$).

En las procedencias de *P. greggii* var. *greggii* distribuidas en mayor altitud se observó un crecimiento más reducido, mientras que las procedencias de *Pinus greggii* var. *australis* distribuidas en longitudes, latitudes, altitudes y pH del suelo menores, los datos fueron superiores. Al estar distribuidas cerca del área del establecimiento de las plantaciones, las procedencias de *Pinus greggii* var. *australis* mostraron mejor adaptación en las áreas erosionadas de la Mixteca Alta de Oaxaca, con una extensión más notoria del área de copa, lo que protege al suelo y aporta residuos leñosos y mantillo, reducen el arrastre de partículas del suelo y disminuye la erosión; condiciones convenientes para las reforestaciones en zonas áridas.

Pinus greggii presentó buena respuesta a la erosión existente en la Mixteca Alta de Oaxaca, lo que coincide con los resultados de Gómez *et al.* (2012) quienes concluyeron que en áreas degradadas, *P. greggii* aumenta su crecimiento en altura y diámetro basal al pasar los años desde su plantación. Esto tiene un efecto positivo, ya que aporta más acículas y carbono al suelo, en comparación con *P. oaxacana*, especie nativa de la región (López *et al.*, 2017). Sin embargo, las procedencias de *Pinus greggii* var. *australis* crecieron más rápido que las de *Pinus greggii* var. *greggii*, como lo describieron Donahue y López (1996) y Velasco *et al.* (2012).

La diferencia en el crecimiento entre procedencias y localidades en el área de estudio se verificaron desde los 2.5 años de plantación; esto coincide con los resultados de Velasco *et al.* (2012), quienes registraron mayor crecimiento en Magdalena Zahuatlán, con las mismas procedencias sobresalientes del estudio que se documenta. La variación de crecimiento entre variedades puede deberse a la ausencia de nutrientes en el suelo (Velasco *et al.*, 2012) que repercutió en ambas procedencias, como lo indican Sánchez *et al.* (2017) para *P. greggii* var. *australis*, y Vázquez *et al.* (2018) en *Pinus greggii* var. *greggii*. Autores que recomiendan la aplicación en las plantaciones de fertilizantes nitrogenados y fosfatados.

Los crecimientos destacados de las procedencias de *P. greggii* var. *greggii* son opuestos a los de Rodríguez *et al.* (2013) obtenidos en Galeana, Nuevo León. Las procedencias de *P. greggii* var. *greggii* con distribución más cercana a los polos

evidenciaron lento crecimiento, lo que puede explicarse por la influencia de la temperatura y el régimen de precipitación (Chhin *et al.*, 2018; Taïbi *et al.*, 2018). El mayor crecimiento de las procedencias de *P. greggii* var. *australis* se relaciona con su distribución a menores latitudes, donde concurren condiciones menos restrictivas para su desarrollo, en comparación con las procedencias de *P. greggii* var. *greggii* (Valencia *et al.*, 2017); por lo tanto, están mejor adaptadas a los ambientes más cálidos, más húmedos y con mayor precipitación (Donahue y López, 1996).

Las procedencias de *P. greggii* var. *australis* tienen genotipos con raíces suficientemente vigorosas para alcanzar la humedad disponible en las capas profundas del suelo, así como mayor acumulación de biomasa, características que inciden en aumentar la protección al suelo de la erosión (Asbjornsen *et al.*, 2004; Villegas *et al.*, 2013); en consecuencia, la cercanía del ambiente de distribución de las procedencias de *P. greggii* var. *australis* con el área de estudio favoreció su adaptación y crecimiento, ya que presentan resistencia a la temperatura y a la sequía de la región. Algunos ensayos establecidos en Brasil, Colombia y Sudáfrica con la misma especie e iguales procedencias (White *et al.*, 2007; Aitken y Bemmels, 2016; Dvorak *et al.*, 1996) generaron resultados semejantes en términos de mayor crecimiento.

Los resultados del presente trabajo sugieren la existencia de una fuerte relación entre el crecimiento y las variables descriptivas de los lugares de distribución natural de cada procedencia, lo que concuerda con los hallazgos de Salazar *et al.* (1999) en Puebla, que a menor edad se verifica una correlación positiva entre altura y altitud; y a mayor edad, la correlación se vuelve negativa. Además, con el tiempo, las procedencias de menor altitud se adaptan mejor, con un crecimiento más notorio en altura, diámetro basal y diámetro de copa.



Conclusiones

A 17 años de establecidas las plantaciones de *Pinus greggii*, la especie presenta mayor supervivencia en Tlacotepec Plumas, lo que supone un potencial superior y mejor condición del sitio para el crecimiento en altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa. Estos datos de las procedencias se agrupan de acuerdo a la variedad del taxón, con valores más destacados para *Pinus greggii* var. *australis*. De ellas, las más sobresalientes son El Madroño, Qro. y El Piñón, Hgo., con mejores crecimientos en zonas erosionadas, pues aportan protección al suelo contra la erosión característica en la región de la Mixteca Alta de Oaxaca.

Los resultados brindan información importante de la variación de crecimiento entre las dos variedades de *P. greggii* en suelos erosionados después de casi dos décadas de su establecimiento. Es conveniente convertir los ensayos en huertos semilleros y aplicar aclareos mediante una selección genotípica y fenotípica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Ruben Ortiz Mendoza: trabajo de campo, análisis de datos y redacción del manuscrito; Oscar Alberto Aguirre Calderón: revisión de manuscrito y aplicación de correcciones; Martín Gómez Cárdenas: diseño del estudio y trabajo de campo; Eduardo Javier Treviño Garza: revisión del manuscrito; Marco Aurelio González Tagle: revisión del manuscrito.



Referencias

- Aitken, S. N. and J. B. Bemmels. 2016. Time to get moving: assisted gene flow of forest trees. *Evolutionary Applications* 9: 271–290. Doi:10.1111/eva.12293.
- Alía, R., R. Galera, S. Martín, D. Agúndez, J. de Miguel y S. Iglesias. 1999. Mejora genética y masas productoras de semillas de los pinares españoles. INIA. Madrid, España. 239 p. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/publicaciones/monografias_inia_forest_al_n1_tcm30-155903.pdf (18 de febrero de 2021).
- Asbjornsen, H., K. A. Vogt and M. S. Ashton. 2004. Synergistic responses of oak, pine and shrub seedlings to edge environments and drought in a fragmented tropical highland oak forest, Oaxaca, Mexico. *Forest Ecology and Management* 192(2-3): 313-334. Doi:10.1016/j.foreco.2004.01.035.
- Cardoza V., R., L. Cuevas F., J. S. García C., J. A. Guerrero H., J. C. González O., H. Hernández M., M. L. Lira Q., J. L. Nieves F., D. Tejada S. y C. M. Vásquez M. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales: Manual de obras y prácticas. CONAFOR-SEMARNAT. Zapopa, Jal., México. 70 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf> (17 de febrero de 2021).
- Climent, J. M., L. Gil, E. Pérez y J. A. Pardos. 2002. Efectos de la procedencia en la supervivencia de plántulas de *Pinus canariensis* Sm. en medio árido. Madrid, España. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 11(1): 171-180. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/view/2527> (17 de febrero de 2021).
- Contreras-Hinojosa, J. R., V. Volke-Haller, J. L. Oropeza-Mota, C. Rodríguez-Franco, T. Martínez-Saldaña y A. Martínez-Garza. 2003. Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *Revista Terra Latinoamericana* 21(03): 427-435. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311097001>(18 de febrero de 2021).

Chhin, S., R. S. Zalesny Jr., W. C. Parker and J. Brissette 2018. Dendroclimatic analysis of white pine (*Pinus strobus* L.) using long-term provenance test sites across eastern North America. *Forest Ecosystems* 5:18. Doi:10.1186/s40663-018-0136-0.

Donahue, J. K. and J. Lopez U. 1996. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in native forest. *Forest Ecology and Management* 82:145-157. Doi:10.1016/0378-1127(95)03677-6.

Dvorak, W. S., J. E. Kietzka and J. K. Donahue. 1996. Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropic and subtropics. *Forest Ecology and Management* 83(1-2): 123-131. Doi:10.1016/0378-1127(95)03673-3.

Gadow R., V., S. Sánchez O. y J. G. Álvarez G. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Universidad de Göttingen. Göttingen, Alemania. 287 p.

Gernandt D., S. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (Coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(1):126-133. Doi:10.7550/rmb.32195.

Gómez R., M., J. C. Soto C., J. A. Blanco G., C. Sáenz R., J. Villegas y R. Lindig C. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia* 46:795-807.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000800005 (17 de febrero de 2021).

Guerrero A., R., E. Jiménez y H. Santiago. 2010. La transformación de los ecosistemas de la Mixteca Alta Oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno. *Revista Ciencia y Mar* 14(40):61-68.
<https://biblat.unam.mx/hevila/Cienciaymar/2010/no40/4.pdf> (17 de febrero de 2021).

- Imaña E., J. y O. Encinas B. 2008. *Epídometría Forestal*. Departamento de Engenharia Forestal, Universidad de Brasilia, Brasilia, Brasil/ Facultad de ciencias forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 72 p.
https://www.academia.edu/39203782/EPIDOMETRIA_FORESTAL (18 de febrero de 2021).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2010. XII Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/141/related_materials?idPro= (17 de febrero de 2021).
- Klepac, D. 1983. *Crecimiento e incremento de árboles y masa forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 279 p.
- López U., J., C. Ramírez H., O. Plascencia y J. Jasso. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Revista Agrociencia* 38(4):457-464.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30200409&iCveNum=1109> (18 de febrero de 2021).
- López O., M., R. B. Sánchez G., J. R. Contreras H., A. D. Armenta B. y J. A. Félix H. 2017. Captación de carbono en suelos asociados a *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus oaxacana* Mirov. En la Mixteca Alta, Oaxaca. *Ecología Aplicada* 16(2). Doi: Doi:10.21704/rea.v16i2.1016.
- Mendiburu, F. D. 2015. *Agricolae: Stastitcal Procedures for Agricultural Research R Package*. Version 1.2-3. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae> (18 de febrero de 2021).
- Perry, J. P. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.

Rodríguez L., R., S. Valencia, J. Meza, M, A. Capó y A. Reynoso. 2008. Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. Revista Fitotecnia Mexicana 31(1): 19-26.

<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/2968/> (17 de febrero de 2021).

Rodríguez L., R., R. Razo Z., S. Valencia M. y J. Meza R. 2013. Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *greggii* de nueve procedencias en Galena, Nuevo León. Revista Mexicana Ciencias Forestales 4(18): 116-125.

Doi:10.29298/rmcf.v4i18.394.

Salazar G., J. G., J. J. Vargas, J. Jasso, J. D. Molina, C. Ramírez y J. López. 1999. Variación en el patrón del crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. Madera y Bosques 5(2):19-34.

Doi:10.21829/myb.1999.521345.

Sánchez V., O., V. M. Cetina A., M. A. López L. y L. I. Trejo T. 2017. Efecto del sistema de producción de *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* en vivero sobre su desarrollo morfológico en campo. Agroproductividad 10(8): 59-64. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1076>

(17 de febrero de 2021).

Secretaría de Desarrollo Social-Cédula de Información Básica para Centros Estratégicos Comunitarios (Sedesol- CIBCEC). 2003. Tlacotepec.

<http://www.microrregiones.gob.mx/cedulas/localidadesDin/ubicacion/relieve.asp?micro=COIXTLAHUACA&clave=205520001&nomloc=TLACOTEPEC%20PLUMAS>

(18 de febrero de 2021).

Taïbi, K., A. D. Del Campo, A. Vilagrosa, J. M. Bellés, M. P. López-Gresa, J. M. López-Nicolás and J. M. Mulet. 2018. Distinctive physiological and molecular responses to cold stress among cold-tolerant and cold-sensitive *Pinus halepensis* seed sources. BMC Plant Biology 18(236). Doi:10.1186/s12870-018-1464-5.

- Valencia M., S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruiz M. y M. A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29(1): 27-32.
<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-1/4a.pdf>
(17 de febrero de 2021).
- Valencia M., S., I. Playas R., E. H. Cornejo O. y C. Flores L. 2017. Patrón de alargamiento del brote terminal en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Madera y Bosque 23(1): 133-141.
Doi:10.21829/myb.2017.2311555.
- Vázquez C., I., J. A. Prieto R., M. A. López L., C. Wehenkel, P. A. Domínguez C. y F. E. Muñoz S. 2018. Crecimiento y supervivencia de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* bajo diferentes tratamientos de fertilización. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 24(2): 251-264.
Doi:10.5154/r.rchscfa.2017.05.036.
- Velasco, V. V. A., J. R. Enríquez, G. Rodríguez, G. V. Campos, M. Gómez y M. L. García. 2012. Evaluación de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex. Parl. en plantaciones de la Mixteca Oaxaqueña. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(9): 41-50. Doi:10.29298/rmcf.v3i9.534.
- Villegas, J. D. E., G. Rodríguez, V. A. Velasco, J. Ruiz, J. C. Carrillo y S. E. Ramírez. 2013. Partición de biomasa aérea en procedencias de *Pinus greggii* plantadas en el sur de México. Revista Fitotecnia Mexicana 36(4): 421-427.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n4/v36n4a8.pdf> (17 de febrero de 2021).
- White, T. L., W. T. Adams and D. B. Neale. 2007. Forest Genetics. CAB International, London. UK. 682 p.
- Zar, H. J. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 663 p.

Zitácuaro, C. F. H. y A. Aparicio R. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 6(1): 21-26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49760105> (17 de febrero de 2021).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.