



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-058

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Variación inter e intra-poblacional en especies de pinos mexicanos cultivados bajo dos regímenes de riego

FLORES, A.^{1,2} y ALÍA, R.^{1,2}

¹ Universidad de Valladolid campus Palencia (UVa).

² Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).

Resumen

El género *Pinus* tiene gran importancia económica y ecológica en México; sin embargo, se encuentra afectado por actividades agrícolas, pecuarias y tala ilegal. Algunas especies presentan una relativa resistencia a la sequía, heladas e incendios de baja intensidad, por lo que pueden ser empleadas en los programas de reforestación y conservación de suelos. Con el propósito de conocer los mecanismos fisiológicos de adaptación a condiciones de estrés ambiental se estudió en plántulas de 15 especies y 57 poblaciones su desarrollo en invernadero bajo dos regímenes de humeado: 100-90 % y 45-35 %. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, altura, biomasa seca y área foliar. El análisis de resultados mostró que la eficiencia del agua tiene una función importante en la capacidad de adaptación en algunas especies a las condiciones de sequía. Esto permitirá identificar las poblaciones capaces de tolerar condiciones de mayor estrés ambiental asociado al cambio climático, las cuales se sugieren ser más usadas en los programas de conservación y mejora genética.

Palabras clave

Diversidad genética, tolerancia a sequía, estrés hídrico, conservación y mejora genética, *Pinus*.

1. Introducción

México cuenta con una gran diversidad del género *Pinus*: 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades, que van desde 0 a 4000 msnm, lo que posiciona como un país con un alto porcentaje (42 %) del total de especies a nivel mundial (Sánchez-González, 2008). No obstante, existe una continua disminución de la cobertura de los bosques de pino, por causa de actividades humanas e incendios forestales. Esto ha llevado a que al menos 20 taxa de pinos mexicanos están en alguna categoría de riesgo. Varias especies son de interés actual debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a ambientes variables. Las poblaciones naturales se encuentran localizadas a lo largo de la Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental. Estudios de investigación confirman que estas barreras geográficas limitan el intercambio genético entre las poblaciones y promueven cierto grado de variación entre y dentro de procedencias o poblaciones (J. López Upton, Jasso Mata, Vargas Hernández, & Ayala S., 1993; Javier López Upton, Jasso-Mata, & Vargas-Hernández, 2000).

En un mismo taxón se pueden encontrar diferencias fenotípicas y genotípicas con respecto al lugar de procedencia. Este fenómeno puede ser detectado desde etapas tempranas de la planta, como una respuesta al medio en el cual se desarrolla. La disponibilidad de agua tiene influencia importante en el crecimiento y desarrollo de las especies forestales. Eventos periódicos de sequía ocasionan estrés hídrico dentro de las plantas que afectan el crecimiento, la anatomía, la morfología, la fisiología y la bioquímica de los tejidos vegetales. La presencia de estas limitaciones repercute en el desarrollo posterior de las plantas; en especies forestales, a menudo se presenta una elevada mortalidad y escaso establecimiento en el terreno, (Baquedano y Castillo, 2007). Debido a lo anterior, la sequía puede ser un factor de importancia en la diferenciación de las poblaciones con base en características de valor adaptativo a condiciones de aridez.

El estudio del comportamiento de las plantas en ambientes precarios de humedad, particularmente en especies forestales, es clave en planes de restauración y conservación de áreas geográficas ante el actual cambio climático; en México, se pronostica que las condiciones de aridez aumentarán debido al incremento de la temperatura y reducción de la precipitación (Sáenz-Romero et al., 2010).

2. Objetivos

Determinar si plántulas de especies y poblaciones de pinos mexicanos presentan cierta tolerancia a la sequía cuando son sometidas a bajos niveles de humedad.

Analizar si variables de desarrollo y crecimiento en plántulas están asociadas con la resistencia a sequía durante sus primeros meses de vida.

Identificar las especies o poblaciones que pueden ser usadas para mantener los bosques naturales de México ante el cambio climático presente.

3. Metodología

El trabajo de investigación consideró el muestreo de material en bosques naturales, la germinación de semillas en laboratorio y el crecimiento de plántulas en invernadero bajo dos regímenes de humedad.

La recolección se hizo dentro de la distribución natural de las poblaciones (Figura 1). Las especies fueron *P. arizonica*, *P. ayacahuite* var. *veitchii*, *P. greggii* var. *australis*, *P. greggii* var. *greggii*, *P. greggii*, *P. hartwegii*, *P. hartwegii* var. *rudis*, *P. lawsonii*, *P. leiophylla*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. pseudostrobus* y *P. teocote*. La germinación se realizó en cámaras de germinación (26 ± 1 °C y 60 ± 5 % de humedad). Las semillas germinadas fueron trasplantadas en contenedores con peat moss y vermiculita (3:1 v/v) y puestas en invernadero. La mitad de plántulas fueron sometidas a riego de capacidad de campo (100-90 %, R0) y el resto a riego de baja humedad (45-35%, R1). Después de 225 días fueron cosechas y secadas en estufa (65 °C / 72 h). Las variables evaluadas fueron supervivencia, altura (mm), biomasa seca (peso de raíz, tallo y acículas) y área foliar (cm²/g).

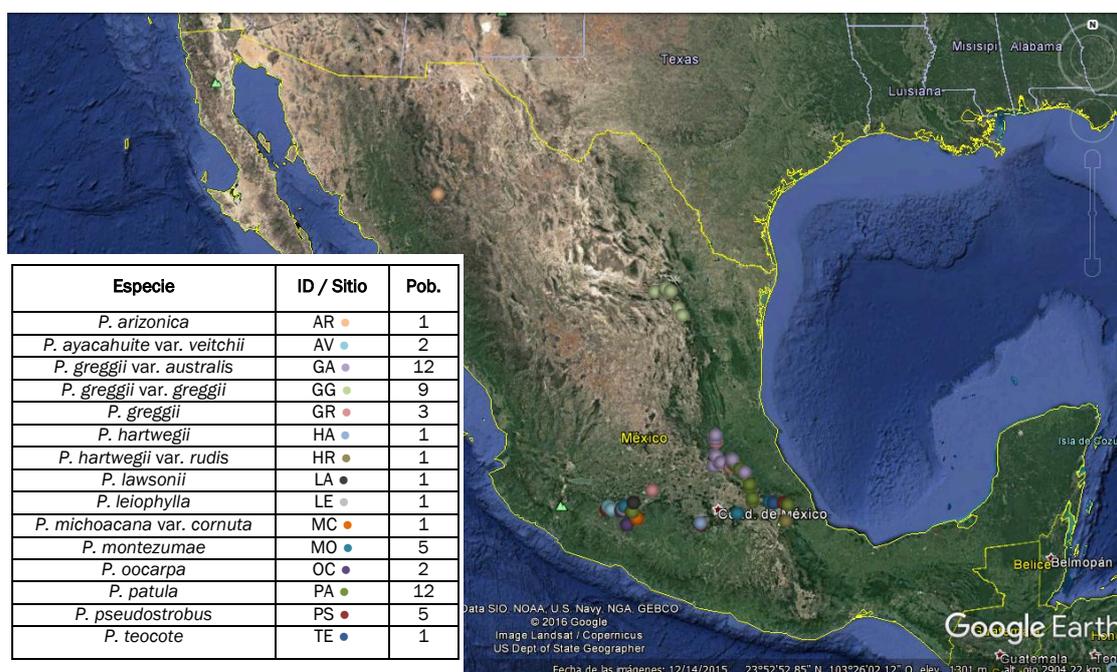


Figura 1. Distribución de 15 especies de pinos y 57 poblaciones (Pob.) en México

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar. El análisis estadístico de las variables se hizo con base en procedimientos multivariados (componentes principales) y modelos mixtos. Con el análisis de componentes principales se determinó en R0 el peso y porcentaje de varianza explicada de las variables. Con los modelos mixtos se analizó el efecto de los regímenes de riego en las especies/poblaciones; se consideró como efectos fijos el régimen de riego (R), la especie (E) y su interacción (R*E); como efectos aleatorios al bloque anidado al riego (B:R) y la población anidada a la especie (P:E). Cuando hubo diferencia significativa por efecto del riego se analizaron las especies de forma individual considerando el riego (R), la población (P) y su interacción (R*P) como efectos fijos, y el bloque anidado al riego (B:R) como efecto aleatorio. Finalmente, se analizó de forma espacial la posición de cada especie/población con base en sus valores fenotípicos medios obtenidos en ambos regímenes de riego.

4. Resultados

Durante la germinación no se obtuvo suficiente planta para establecer bloques completos en el diseño experimental, por lo que las siguientes especies quedaron excluidas del análisis: *P. arizonica*, *P. greggii* var. *greggii*, *P. lawsonii*, *P. michoacana* var. *cornuta*, y *P. montezumae*.

Los componentes principales uno y dos (eigvalue >1) explicaron más del 85% de la varianza total en R0, para las especies de forma inter e intra poblacional. El primer componente (PC1) explicó el 57.1% de la varianza total, el cual estuvo más positivamente correlacionado con BSR y BSA. El componente dos (PC2) explicó el (29.0%) y estuvo más positivamente correlacionado con ALT. A través de un plano bidimensional de PC1 y PC2 se definieron siete grupos con base en las variables analizadas (Figura 2).

El grupo que incluyó a LE01, OC01 y OC02 estuvo definido por tener mayores valores en BSR y BST, bajo potencial de crecimiento en altura y bajo desarrollo en AF. El grupo constituido por GA10 tuvo mayor potencial en BST y ALT que en BSR, BSA y FA. El grupo que comprendió GR02, GR03, PA06, PA12, PA07, PA03, PA04 y TE01 tuvo mayor potencial en ALT y FA pero mucho menor en BSR, BST y BSA. El grupo formado por PA11, PA02, PA09, PA01, PA08 y PA10 tuvo un cercano potencial en FA pero menor en el resto. El grupo que incluyó a PS01, PS02, PS04 y PS05 tuvo relativo potencial en BSA y FA, pero bajo en ALT, BST y BSR. El grupo de HR01, HA01 y PS03 tuvieron un relativo potencial con FA pero bajo con el resto. El grupo de AV02 tuvo relativo potencial con BSA pero bajo en el resto.

Para el análisis comparativo de los efectos de los regímenes de riego únicamente se emplearon las especies *P. greggii*, *P. oocarpa*, *P. patula* y *P. pseudostrobus* ya que presentaron bloques completos en ambas condiciones de humedad. *P. greggii* presentó diferencia significativa ($p < 0.01$) en todas sus variables al factor régimen de riego pero no a los factores procedencia e interacción régimen de riego/procedencia. *P. oocarpa* tuvo una respuesta similar *P. greggii*; no obstante, la variable AF no presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) en ningún factor. *P. patula* tuvo diferencia significativa en todas sus variables y factores a excepción de AF en la interacción régimen de riego/procedencia. *P. pseudostrobus* solo presentó diferencia significativa ($p < 0.01$) en ALT, BST y AF en los factores régimen de riego y procedencia. Los gráficos de comparación entre riegos de cada especie/población mostraron su comportamiento y diferencias (Figura 3). Un ejemplo del efecto del factor régimen de riego a la variable ALT en *P. patula* y *P. greggii* se observa en la figura 4.

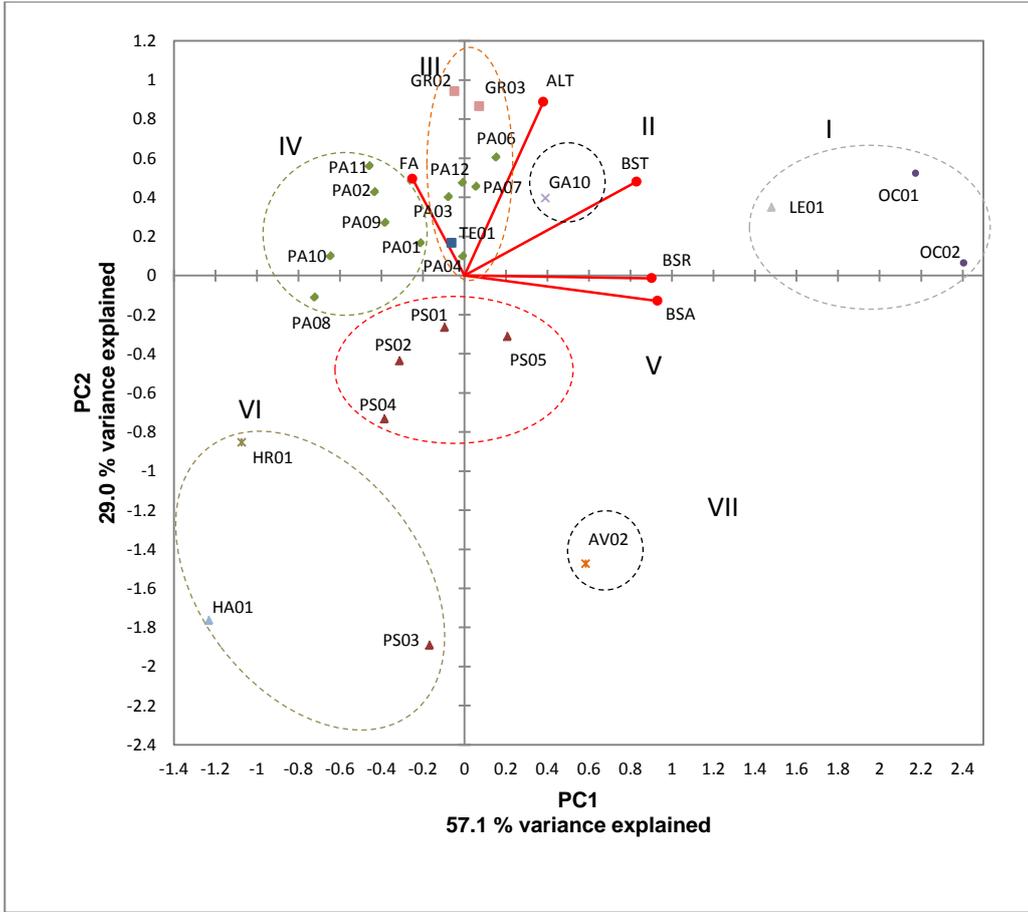


Figura 2. Posición de variables (●) y poblaciones en un plano definido por dos componentes principales para *P. ayacahuite* var. *veitchii* (✕), *P. greggii* var. *australis* (X), *P. greggii* (■), *P. hartwegii* (▲), *P. hartwegii* var. *rudis* (✕), *P. leiphylla* (▲), *P. oocarpa* (●), *P. patula* (◆) y *P. pseudostrobus* (▲)

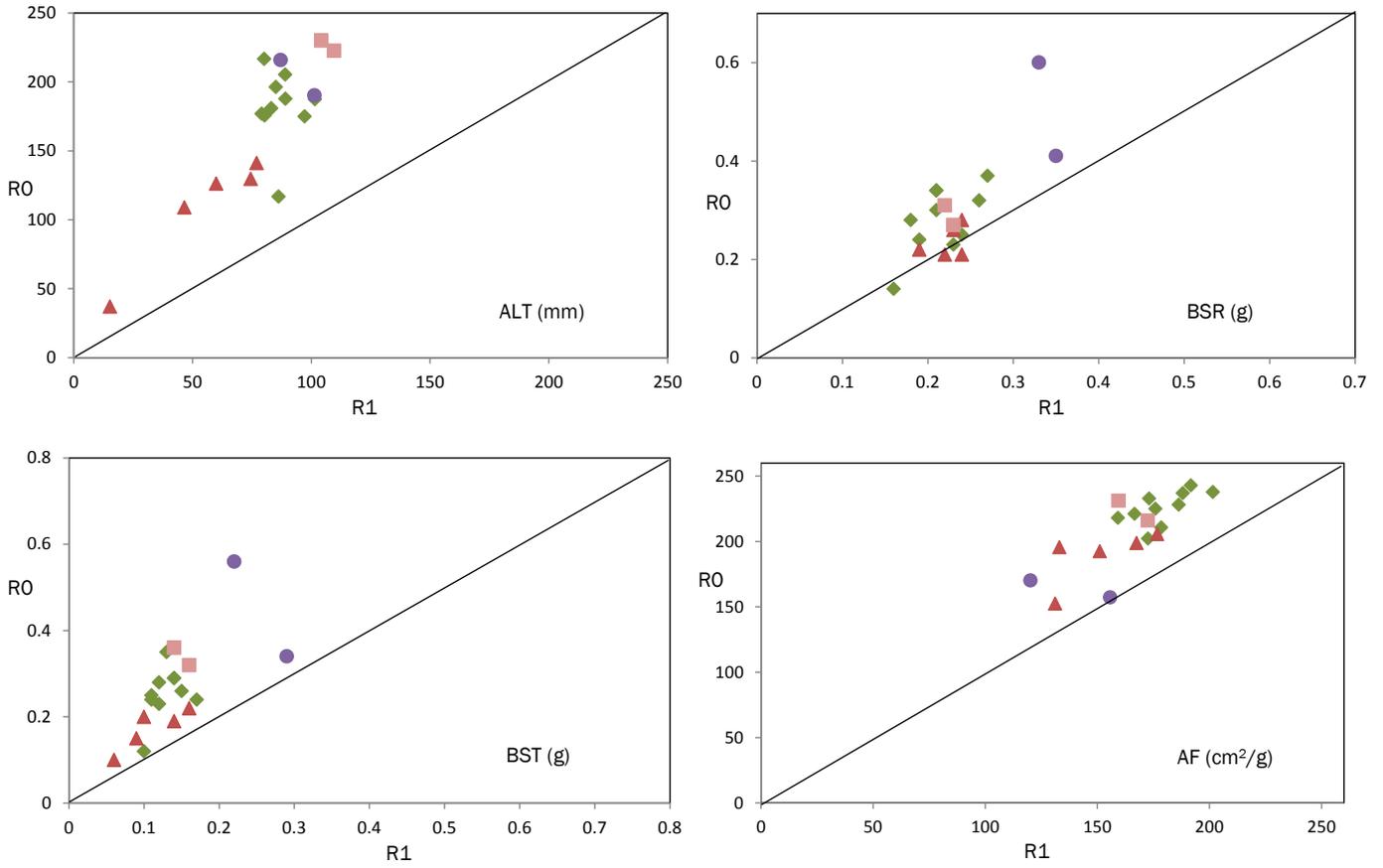


Figura 3. Gráficos de ambientes R0 y R1 para ALT, BSR, BST y AF para poblaciones de *P. greggii* (■), *P. oocarpa* (●), *P. patula* (◆) y *P. pseudostrobus* (▲)



Figura 4. Plántulas de *P. patula* (izquierda) y *P. greggii* (derecha) expuestas de dos regímenes de riego (R0 y R1)

5. Discusión

La presente investigación evaluó la variación morfológica de plántulas de pino, a nivel de inter e intra poblacional, como respuesta a dos condiciones de humedad. Los resultados obtenidos permiten tener una perspectiva sobre el desarrollo y crecimiento de las plántulas, desde un punto de vista en plasticidad y diferenciación a nivel de especies y poblaciones.

Pocos trabajos de investigación han evaluado los cambios morfológicos de plántulas bajo condiciones de estrés hídrico de coníferas de México. La mayor parte de estos están dirigidos a especies de importancia comercial y suelen ser hechos en ensayos de campo (huertos, plantaciones) con individuos mayores a 2-3 años. No obstante, el continuo cambio ambiental que amenaza las poblaciones naturales demanda una evaluación temprana en plántulas de corta edad.

A pesar de los problemas en la germinación de la semilla 10 especies y 24 poblaciones pudieron ser analizadas dentro de un régimen de humedad a capacidad de campo (R0), mientras que solo 4 especies y 19 poblaciones de forma comparativa en ambos regímenes (R0, R1). En general, en ambos casos hubo especies con baja, media y alta variación en su desarrollo y crecimiento, esto puede ser posible aun en especies cercanas entre si ya que presentan mayor respuesta a los cambios ambientales (Chambel, Climent, & Alía, 2007).

El análisis de componentes principales demostró la variación inter e intra poblacional en los rasgos fenotípicos evaluados, siendo mayores en las especies *P. greggii* var. *australis*, *P. greggii*, *P. leiophylla*, *P. oocarpa*, *P. patula* y *P. teocote*. De acuerdo con previos estudios en pinos se pueden observar que las variaciones que se presentan entre poblaciones es debido a un patrón geográfico (Alía, Moro, Denis, & Alía, 1997).

En el caso de *P. greggii* presentó alto potencial en altura, lo cual suele ser una característica común por presentar variaciones de crecimiento intra poblacional desde temprana edad (López-Ayala, Vargas-Hernández, Ramírez-Herrera, & Jópez-Upton, 1999). De acuerdo con Javier López Upton et al. (2000) el control genético de la especie en altura suele aumentar con la edad de las plantas, por lo que esta característica se considera como un indicador de selección. En otras especies también se han hallado diferencias significativas desde el primer año de crecimiento cuyas diferencias son atribuibles a factores genéticos (Javier López Upton, Ramírez Herrera, Plascencia Escalante, & Jasso Mata, 2004; Salazar García et al., 1999).

En *P. oocarpa* se hubo bajo potencial en la altura en las dos poblaciones. Viveros-Viveros, Sáenz-Romero, & Guzmán-Reyna (2005) consideran que esto sucede en plantas de corta edad de debido a que algunas familias pueden tener estrategias de ritmos temporales de crecimiento. Por el contrario, en *P. patula* se manifiesta variación intra poblacional potencial lo que la ha caracterizado por ser una especie con patrones de crecimiento altamente variables (Gómez-Cárdenas, Vargas H, Jasso M, Velásquez M, & Rodríguez F, 1998). Para *P. teocote* no se apreciaron alto potencial en la respuesta a las variables, lo cual difieren en cuanto a los resultados obtenidos en otros trabajos de investigación en los que se analizaron más de una población (García Ramírez, Landa Alba, & Mendizabal Hernández, 2001).

Con respecto a las respuestas obtenidas por efecto de dos regímenes de riego hubo diferencias significativas mayores en las poblaciones de *Pinus patula* que en resto de especies, estos coinciden con otros estudios realizados previamente en las especies a diferentes edades (Cambron Sandoval, Suzán Azpiri, Vargas Hernández, Sánchez Vargas, & Sáenz-Romero, 2013; Castellán-Muñoz, Jiménez-Casas, López-Delgado, Campos-García, & Vargas-Hernández, 2015; Castellanos-Acuña et al., 2013; Javier López Upton et al., 2000).

P. greggii, *P. oocarpa*, *P. patula* y *P. pseudostrobus* muestran cierta tolerancia a la sequía cuando son sometidas a bajos niveles de humedad. En *P. patula* se apreció mayor efecto a los regímenes de riego, lo cual podría deberse a procesos evolutivos que promueven mayor adaptación a ambientes diferentes. Asimismo, en *P. greggii* trabajos previos han demostrado mayor variabilidad, la cual ha sido atribuida a diferenciaciones causadas por el ambiente en el que se distribuye. Aunque algunas especies tuvieron poca respuesta a un bajo régimen de humedad, es necesario analizar con mayor detalle esta cuestión ya que en algunos casos ciertas especies presentan mayor tolerancia a la escases de humedad (Ruiz-Prieto et al., 2004). Por otra parte, en especies de pino se ha encontrado que niveles de humedad menores al 30% no son suficientes para apreciar cambios significativos morfológicos (Martíñón-Martínez, Vargas-Hernández, López-upton, Gómez-Guerrero, & Vaquera-Huerta, 2010).

6. Conclusiones

El análisis basado en un conjunto de caracteres potencialmente asociados al crecimiento y desarrollo de las especies permite comprender la variación fenotípica presente y contrastarla con resultados de estudios previos. Los análisis presentados exploran los patrones de variación genética inter e intra poblacional para las especies, lo cual ayuda a determinar bajo cuales condiciones tiene posibilidad de continuar con base en su adaptabilidad actual.

7. Agradecimientos

Agradecemos al personal técnico que participó en la recolección del germoplasma, así como en la producción de planta en invernadero: J. Jesús Muñoz Flores, Javier López Upton, J. Octavio Romero García, Alejandro López (q.e.p.d.), Oscar Trejo Ramírez, Fernando del Caño y Sergio San Segundo.

8. Bibliografía

- (ALÍA, R.); (MORO, J.); (DENIS, J.B.); 1997. Performance of *Pinus pinaster* provenances in Spain: interpretation of the genotype by environment interaction. *Can. Jour. For. Res.* 27 1548–1559.
- (CAMBRON, V. H.); (SUZÁN, H.); (VARGAS, J. J.); (SÁNCHEZ, N. M.); (SÁENZ, C.); 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia growth strategies and biomass distribution in *Pinus pseudostrobus* under different conditions of competition. *Rev. Fitotec. Mex.* 36 71–79.
- (CASTELÁN, N.); (JIMÉNEZ, M.); (LÓPEZ, H. A.); (CAMPOS, H.); (VARGAS, J. J.); 2015. Familial variation in *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. seedlings in response to drought: water and osmotic potential. *Rev. Cha. Cie. For. Amb.* 21 295–306.
- (CASTELLANOS, D.); (SÁENZ, C.); (LINDIG, R. A.); (SÁNCHEZ, N. M.); (LOBBIT, P.); (MONTERO, J. C.); 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. ensayo de vivero. *Rev. Cha. Cie. For. Amb.* 19 399–411.
- (CHAMBEL, M. R.); (CLIMENT, J.); (ALÍA, R.); 2007. Divergence among species and populations of Mediterranean pines in biomass allocation of seedlings grown under two watering regimes. *Ann. For. Sci.* 64 87–97.
- (GARCÍA, E. O.); (LANDA, J.); (MENDIZABAL, L. C.); 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenies de *Pinus teocote* Schl & Cham. *For. Ver.* 3 27–35.
- (GÓMEZ, M.); (VARGAS H, J. J.); (JASSO J.); (VELÁSQUEZ M, A.); (RODRÍGUEZ F, C.); 1998. Patrón de crecimiento anual del brote terminal en árboles jóvenes de *Pinus patula*. *Agroc.* 32 357–363.
- (LÓPEZ, J. L.); (VARGAS, J. J.); (RAMÍREZ, C.); (JÓPEZ, J.); 1999. Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento del brote terminal en *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Cha. Cie. For. Amb.* 5 133–140.
- (LÓPEZ, J.); (JASSO, J.); (VARGAS, J. J.); 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Mad. Bos.* 6 81–94.
- (LÓPEZ, J.); (JASSO, J.); (VARGAS, J. J.); (AYALA, J. C.); 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agroc.* 3 81–95.
- (LÓPEZ, J.); (RAMÍREZ, C.); (PLASCENCIA, O.); (JASSO, J.); 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades. *Agroc.* 38 457–464.
- (MARTÍNÓN, R. J.); (VARGAS, J. J.); (LÓPEZ, J.); (GÓMEZ, A.); (VAQUERA, H.); 2010. Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon a estrés por sequía y altas temperaturas. *Rev. Fit. Mex.* 33 239–248.
- (RUIZ, J.); (OVIEDO, E.); (CALLEROS, P.); (NÁVAR, D. J.); (MONCIVAIS, J. M.); (JIMÉNEZ, J.); 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. producido en vivero. *Invest Agrar: Sist Recur For* 13 443–451.
- (SÁENZ, C.); (REHFELDT, G. E.); (CROOKSTON, N. L.); (DUVAL, P.); (ST-AMANT, R.); (BEAULIEU, J.) ; (RICHARDSON, B. A.); 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Clim. Cha.* 102 595–623.
- (SALAZAR, J. G.); (VARGAS, J. J.); (JASSO, J.); (MOLINA, J. D.); (RAMÍREZ, C.) (LÓPEZ, J.); 1999). Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Mad. Bos.* 5 19–34.
- (SÁNCHEZ, A); 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Mad. Bos.* 14 107–120.
- (VIVEROS, H.); (SÁENZ, C.) (GUZMÁN, R. R.); 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*. *Rev. Fit. Mex.* 28 333–338.