VARIACIÓN ENTRE PROCEDENCIAS DE *Pinus pseudostrobus* ESTABLECIDAS EN DOS SITIOS EN MICHOACÁN, MÉXICO

Pinus pseudostrobus PROVENANCE VARIATION TESTED IN TWO SITES IN MICHOACÁN, MÉXICO

Héctor Viveros-Viveros[1], Cuauhtémoc Sáenz-Romero[2*], J. Jesús Vargas-Hernández[1] y Javier López-Upton[1]

[1]Programa Forestal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Edo. de México. [2]Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Av. San Juanito Itzícuaro s/n, Col. San Juanito Itzícuaro. 58330, Morelia, Mich. Tel: 01 (443) 327-2350/51, Ext. 118. Fax: Ext. 200. Correo electrónico: csaenz@zeus.umich.mx
** Autor para correspondencia*

RESUMEN

Con el propósito de determinar la variación genética entre procedencias en características del crecimiento, supervivencia, daños por heladas y el grado de interacción genotipo x ambiente, se estableció un ensayo de nueve procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. típico y dos procedencias de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* Mart. en dos sitios con diferente altitud (2200 y 2800 m), en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Se encontraron diferencias significativas entre procedencias ($P < 0.05$) en el crecimiento en altura a los 15, 20 y 24 meses de edad, en el diámetro basal y el diámetro de copa a los 24 meses y en la fenología de la yema a los 27 meses de edad, así como entre sitios de plantación para el crecimiento en altura a los 15 meses de edad, diámetro basal, diámetro de copa y supervivencia a los 24 meses, fenología de la yema a los 16 y 27 meses, y en los daños por heladas a los 15 meses (después del primer invierno). Las procedencias de *P. pseudostrobus* típico presentaron un crecimiento superior a las de *P. pseudostrobus* var. *apulcencis*, lo que apoya su distinción taxonómica. Una procedencia local (Cerro de Tumbiscatillo) de *P. pseudostrobus* típico tuvo el mejor crecimiento en altura, de aproximadamente el doble que las procedencias de la var. *apulcensis*. Se detectó interacción genotipo x ambiente en el diámetro basal de las plantas.

Palabras clave: *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*, procedencias, crecimiento en altura, fenología, daños por heladas.

SUMMARY

To estimate the genetic variation among provenances for growth traits, survival, frost damage, and the level of genotype x environment interaction, nine provenances of *Pinus pseudostrobus* Lindl. and two of *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* Mart. were tested at two forested sites with different elevation (2200 and 2800 m) within the native indian community at Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Significant differences were found among provenances ($P < 0.05$) for growth in seedling height at 15, 20 and 24 months of age, basal diameter and crown width at 24 months of age and bud phenology at 27 months of age. Significant differences were also found between sites for height growth at 15 months of age, basal diameter, crown width and survival at 24 months, bud phenology at 16 and 27 months of age and frost damage at 15 months of age (after the first winter). *P. pseudostrobus* provenances had a growth significantly higher than *Pinus pseudostrobus* var. *apulcencis*, which support their taxonomic separation. One local *P. pseudostrobus* provenance (Cerro de Tumbiscatillo) had the best growth in seedling height, about twice the growth of *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* provenances. Genotype x environment interaction was detected for the seedling basal diameter.

Index words: *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*, provenances, height growth, phenology, frost damage.

INTRODUCCIÓN

México es un centro de diversificación de los pinos, y es el hábitat de más de la mitad de las especies conocidas de este género en el mundo (Martínez, 1948; Perry, 1991; Styles, 1993). Sin embargo, en las últimas décadas la deforestación de áreas naturales de distribución del género *Pinus* se ha convertido en un grave problema (Masera *et al.*, 1992; Sáenz-Romero *et al.*, 2003). Los programas de reforestación constituyen la principal forma utilizada para contrarrestar los efectos de la deforestación y establecer plantaciones comerciales (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004). La correcta elección de la especie y el origen geográfico (procedencia) de la semilla para producción de planta en vivero, es de vital importancia para lograr el establecimiento exitoso de las plantas en los sitios de reforestación. La variación genética que existe entre y dentro de las especies determina en gran medida patrones estacionales de crecimiento y mecanismos fisiológicos de resistencia a la sequía o heladas, los cuales son producto de la evolución de las especies y procedencias a las condiciones ambientales de sus sitios de origen (Zobel y Talbert, 1992). La mejor manera de seleccionar la procedencia más

Recibido: 2 de Marzo del 2005.
Aceptado: 20 de Marzo del 2006.

adecuada es establecer ensayos de campo y evaluar el crecimiento de las plantas (Zobel y Talbert, 1992).

Una de las especies de pino que más se ha usado para reforestaciones en el país es *Pinus pseudostrobus* Lindl. (PRONARE, 2000). Además de la variedad típica (*P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*), se reconocen dos variedades y dos formas: *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* Mart., *P. pseudostrobus* var. *coatepecensis* Mart., *P. pseudostrobus* f. *protuberans* Mart., y *P. pseudostrobus* f. *megacarpa* Loock (Martínez, 1948; Perry, 1991). Sin embargo, hasta la fecha no se ha explorado el potencial de esta variación intraespecífica. Las variedades *pseudostrobus* y *apulcensis* de típica tienen gran importancia económica por su amplia distribución en México, en particular en el centro del país, donde se les utiliza en la producción de madera aserrada de buena calidad, durmientes, tableros de partículas, madera para construcción, cajas de empaque, madera para chapa y triplay, celulosa y papel, resina, artesanías, ebanistería y muebles finos (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997).

La variedad típica de *P. pseudostrobus* suele tener excelente crecimiento en ambientes favorables. Su mejor calidad de sitio se encuentra alrededor de los 2500 msnm con precipitación anual superior a 900 mm y temperaturas cálidas a templadas. En cambio, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* prospera mejor en altitudes de 1800 a 2200 m y prefiere hábitats menos húmedos (Favela, 1991; Perry, 1991). Pero debido al estrecho parentesco que existe entre la variedad típica y la variedad *apulcensis*, en ocasiones resulta difícil distinguir en campo los ejemplares de estos taxones, especialmente en edades juveniles (Stead y Styles, 1984; Favela, 1991; Farjon y Styles, 1997).

Los objetivos de este trabajo fueron: a) Determinar la variación genética entre procedencias en características del crecimiento, supervivencia y daño por heladas entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, colectadas en áreas de su distribución natural en los estados de Michoacán, Hidalgo y Veracruz; b) Comparar el crecimiento en plantas de *P. pseudostrobus* típico de procedencias locales y plantas de procedencias no locales; y c) Determinar la magnitud de la interacción genotipo x ambiente en el crecimiento de las plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de semilla y establecimiento del ensayo

Se obtuvo semilla de once procedencias (nueve de *Pinus pseudostrobus* y dos de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*) colectada en forma masal de entre 11 a 30 árboles por origen (Cuadro 1). Las tres procedencias de Nuevo San Juan Parangaricutiro (denominadas procedencias 3, 4 y 5) se consideraron como "locales", ya que se originaron de semillas colectadas en la misma región en la que se ubican los dos sitios de ensayo: los bosques de la propia comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Para los ensayos de campo se utilizaron plántulas de nueves meses de edad producidas en contenedores de 380 cm^3. En julio de 2002 se estableció el ensayo de procedencias en dos sitios con altitudes contrastantes ubicados en los bosques de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. Uno de los sitios se ubicó en la parte más alta de estos bosques, en la cima del Cerro de Pario, a 2800 m de altitud, con exposición oeste y pendiente de aproximadamente 35°. El otro sitio se ubicó en la parte baja de los bosques de la comunidad, en el predio Los Amoles, a 2200 m de altitud, con pendiente menor a 3° y exposición zenital. Ambos sitios están rodeados de rodales naturales dominados por *P. pseudostrobus* típico. Cada prueba de campo

Cuadro 1. Localización geográfica de las 11 procedencias de Pinus pseudostrobus *Lindl*. típico *y* P. pseudostrobus var. apulcensis *Mart. evaluadas y de los dos sitios de plantación en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.*

Procedencia / Sitio de Plantación	Taxón[†]	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)
Procedencias				
1. Las Espinas, Hidalgo, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 37'	100° 38'	2390
2. Cerro La Anona, Pátzcuaro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 29'	101° 47'	2480
3. Cerro de Pario, Parangaricutiro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 28.4'	102° 11'	2800
4. Cerro Tumbiscatillo, Parangaricutiro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 28.3'	102° 10'	2400
5. Joya del Durazno, Parangaricutiro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 27.8'	102° 09'	2100
6. San Juan, Pátzcuaro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 25'	101° 34'	2320
7. Santa Clara, Pátzcuaro, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	19° 23'	101° 39'	2100
8. Puerto El Espejo, Coalcomán, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	18° 46'	102° 57'	2670
9. Varaloso, Coalcomán, Mich.	*P. pseudostrobus* típico	18° 41'	102° 57'	2450
10. Perote, Ver.	*P . p.* var. *apulcensis*	19° 27'	97° 13'	2850
11. Comunidad Durango, Zimapán, Hgo.	*P . p.* var. *apulcensis*	19° 15'	99° 14'	2300
Sitios de plantación				
1. Cerro Pario, Parangaricutiro, Mich.		19° 28.4'	102° 11'	2800
2. Los Amoles, Parangaricutiro, Mich.		19° 24'	102° 13'	2200

[†] Las procedencias están separadas por taxón y el orden dentro de cada uno es de mayor a menor latitud. Las semillas de las procedencias 1, 8 y 9 fueron proporcionadas por la Central América and México Coniferous Resource Cooperative (CAMCORE), y las de los orígenes 10 y 11 se obtuvieron del Centro de Genética Forestal, A. C.

tuvo un diseño de bloques completos al azar, con 16 bloques, once procedencias y un individuo por unidad experimental (*i.e.*, 16 plantas por procedencia por sitio). La preparación del sitio consistió en la remoción manual de árboles y arbustos y el corte de herbáceas. Se plantó en marco real a un espaciamiento de 2 x 2 m, en cepa común de 20 x 20 x 20 cm.

Obtención de datos

En campo se evaluó la altura total de la planta, en cm, a cuatro edades: 12 meses (diciembre de 2002), 15 meses (marzo de 2003), 20 meses (agosto de 2003) y 24 meses a partir de la germinación (diciembre de 2003). La primera medición de altura en campo (12 meses) se consideró como la altura inicial de la planta, y se usó como referencia para estimar el crecimiento acumulado en las edades posteriores (15, 20 y 24 meses). El daño por heladas se evaluó a los 15 meses (marzo de 2003) con una escala de valores de 0 a 10, de acuerdo con el porcentaje de daño en la planta, en donde 1 equivale a 10 % y 10 que equivale a un daño de 100 %.

El estado fenológico se evaluó a los 16 (abril de 2003) y 27 meses (marzo de 2004) mediante un índice que representó el estado de desarrollo de la yema apical, con valores de 0 a 6, donde 0 = yema en dormancia; 1 = yema hinchada iniciando su crecimiento; 2 = alargamiento intermedio del brote; 3 = alargamiento completo del brote, pero sin fascículos evidentes; 4 = brote completamente alargado, con aproximadamente 1/4 de su longitud cubierto con fascículos; 5 = brote bien desarrollado con fascículos que cubrían aproximadamente de 1/2 a 3/4 del brote; y 6 = brote desarrollado con fascículos en todo el brote. En los casos en que los individuos presentaran un segundo ciclo de crecimiento, éste se evaluó con el mismo sistema del primer ciclo (índice de 1 a 6), pero sumando un valor de seis; es decir, plantas con un segundo ciclo tuvieron valores de 7 a 12.

En el mes de diciembre de 2003 (dos años de edad), se determinó el diámetro basal del tallo (en mm, medido a 10 cm del suelo), el número total de verticilos y el diámetro de copa (en cm, estimado como el promedio del diámetro máximo de copa y el diámetro mínimo de copa, este último tomado a la misma altura que el diámetro máximo). Se cuantificó la supervivencia a los 24 meses de edad, con valores de 0 a las plantas muertas y de 1 a las plantas vivas. En el sitio de baja altitud (Los Amoles) fue evidente en el transcurso del experimento una importante mortalidad debido a daño por tuzas; sin embargo, había casos en los que no había plena seguridad de identificar si la causa de la muerte de una planta había sido el daño por tuza, un daño severo por helada u otro (*e.g.*, cuando la planta había desaparecido o ya estaba muy seca). Por ello, se cuantificó la supervivencia sin hacer distinción de la causa de mortalidad.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza del crecimiento en altura a tres edades (15, 20 y 24 meses), daños por heladas a los 15 meses, fenología de la yemas en dos edades (16 y 27 meses) y diámetro basal de la planta, número de verticilos, ancho de copa, y supervivencia de la planta a los 24 meses, mediante el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS (SAS, 1998). El análisis se realizó al considerar los dos sitios de plantación de manera conjunta. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + ß(S)_{ij} + P_k + SP_{ik} + \varepsilon_{ijk} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

En donde Y_{ijk} = observación; μ = media general; S_i = efecto de la localidad; $ß(S)_{ij}$ = bloque dentro de localidad; P_k = procedencia; SP_{ik} = interacción localidad x procedencia; y ε_{ijk} = error. Los efectos sitio, procedencias y su interacción se consideraron fijos, mientras que los efectos de bloques y del error fueron considerados aleatorios. Para cumplir con el supuesto del análisis de la varianza de que los datos poseen una distribución normal, el índice de daño por heladas se transformó al arco seno de la raíz cuadrada del índice dividido entre 10.

Se hizo también un análisis para cada sitio por separado con un modelo similar a la Ec.1, sin incluir el efecto del sitio. Debido a que los resultados fueron muy similares a los del análisis de los dos sitios en conjunto, se decidió discutir sólo este último.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre sitios de plantación para el crecimiento en altura y los daños por heladas a los 15 meses de edad, la fenología de la yema a los 16 y 27 meses de edad, y el diámetro basal, el diámetro de copa, y la supervivencia de las plantas a los 24 meses (Cuadro 2). También se encontraron diferencias significativas entre procedencias para las características de crecimiento en altura a los 15, 20 y 24 meses, la fenología de la yema a los 27 meses, el diámetro basal y el diámetro de copa a los 24 meses de edad. La interacción sitio x procedencia a los 24 meses fue significativa ($P < 0.05$) y en el umbral de significancia ($P = 0.055$) para el diámetro basal de las plantas, también la hubo para el crecimiento en altura a los 20 meses de edad (Cuadro 2), lo que indica que en estas características de crecimiento procedencias no se comportaron de manera similar en los dos sitios.

Cuadro 2. Nivel de significancia (P) en el análisis de varianza y valores promedios por sitio de caracteres de crecimiento en plantas de 11 procedencias de Pinus pseudostrobus *Lindl. y* P. pseudostrobus var. apulcensis Mart. *en dos sitios de evaluación.*

Característica	Nivel de significancia			Promedios por sitio	
	Sitio	Procedencia	Sitio x Procedencia	Los Amoles	Cerro de Pario
Daños por heladas 15 meses (%)	**<0.01**	0.18	0.18	30.3	0.0
Altura 15 meses (cm)	**<0.01**	**0.01**	0.46	7.7	15.9
Altura 20 meses (cm)	0.80	**0.01**	0.06	32.4	33.3
Altura 24 meses (cm)	0.66	**0.01**	0.25	44.7	42.8
Fenología de la yema (16 meses)	**<0.01**	0.10	0.99	3.9	5.9
Fenología de la yema (27 meses)	**0.02**	**0.01**	0.68	5.2	4.3
Diámetro basal 24 meses (cm)	**<0.01**	**0.01**	**0.01**	2.2	1.6
Diámetro de copa 24 meses (cm)	**0.01**	**0.03**	0.41	47.1	40.3
No. de verticilos 24 meses	0.82	0.67	0.67	2.3	2.4
Supervivencia 24 meses (%)	**<0.01**	0.40	0.36	31.9	98.2

Valores significativos ($P < 0.05$) en negritas.

Variación entre sitios de plantación

El crecimiento promedio en altura de las plantas en el sitio ubicado a mayor altitud (Cerro de Pario, 2800 m) fue superior al crecimiento en el sitio de menor elevación (Los Amoles, 2200 m) durante los primeros meses. Probablemente la presencia de heladas en Los Amoles, factor ausente en Cerro de Pario, retrasó el crecimiento de las plantas. Sin embargo, a los 24 meses de edad, el crecimiento acumulado en altura, diámetro basal y ancho de la copa de las plantas fue superior en el sitio más bajo.

El mayor crecimiento inicial en el sitio más elevado (Cerro de Pario) se expresó en un crecimiento significativamente superior en altura a los 15 meses de edad (15.9 cm) y en un estado fenológico más avanzado de las yemas a los 16 meses de edad (terminación del primer ciclo de crecimiento, con índice fenológico de las yemas = 5.9), que en el sitio de menor elevación (Los Amoles), en donde las plantas habían crecido sólo 7.7 cm en altura y las yemas estaban en una fase intermedia del ciclo de crecimiento (índice fenológico = 3.9) (Cuadro 2). Esto indica una elongación de yemas más tardía en el sitio a menor altitud, lo cual es contrario a lo esperado, ya que es de suponer una mayor temperatura promedio y un menor número de días con heladas en este sitio y, por tanto, un crecimiento inicial más temprano. Existen diferentes estudios que muestran que, en general, las plantas reducen su crecimiento al aumentar la elevación del sitio de evaluación (Gwaze *et al*., 2001; Wei *et al*., 2001; Li *et al*., 2003). Esta contradicción puede ser explicada por las heladas ocurridas en el sitio de menor elevación, lo cual se detalla más adelante. Las consecuencias en el crecimiento por las heladas en Los Amoles dejaron de ser relevantes posteriormente, ya que las diferencias entre los dos sitios en crecimiento en altura de la planta dejaron de ser significativas a los 20 y 24 meses de edad; además, en el segundo año, el sitio de menor elevación mostró mayor desarrollo fenológico de la yema (índice fenológico = 5.2) que el sitio de mayor elevación (índice fenológico = 4.3, Cuadro 2), acorde con lo esperado respecto a la altitud de los sitios.

A los 24 meses de edad, el diámetro basal y el diámetro promedio de copa fueron significativamente mayores en el sitio de menor altitud que en el de mayor altitud (Cuadro 2). Esto indica que cuando se realizaron las mediciones (diciembre de 2003), las plantas de Los Amoles ya se habían recuperado de los daños causados por las heladas en el invierno anterior. Debido a ello, las plantas de este sitio presentaron un aspecto más robusto y vigoroso que las plantas del Cerro de Pario, lo cual concuerda con lo esperado con base en las temperaturas de los sitios y con los resultados de otros ensayos efectuados a diferentes elevaciones con respecto a características del crecimiento de especies arbóreas como *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Campbell, 1972) y *Abies frasieri* (Pursh) Poir (Arnold *et al*., 1994).

Los daños por heladas se presentaron únicamente en el sitio de menor altitud (Los Amoles, 2200 m) con un promedio de 30 %, mientras que en el sitio de mayor altitud (Cerro de Pario, 2,800 m) no se registró daño alguno (Cuadro 2). La explicación a esta aparente contradicción es que la topografía plana del sitio Los Amoles favoreció que en los días invernales con heladas el aire frío permaneciera sobre la superficie y generara daños en las plantas; en cambio, la pendiente pronunciada del sitio Cerro de Pario evitó que el aire frío permaneciera en la superficie del suelo. Los daños combinados por heladas y por tuzas provocaron que la supervivencia fuera significativamente menor en el sitio de menor altitud (32 %) que en el de mayor altitud (98 %, Cuadro 2). En el sitio de mayor elevación tampoco hubo daño por tuzas.

Variación entre procedencias

Los valores promedio de crecimiento en altura a los 15, 20 y 24 meses de edad y la fenología de la yema a los 27 meses muestran que las procedencias de *Pinus pseudostrobus* típico se diferencian claramente de las de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, ya que estas últimas conformaron un grupo independiente, según la prueba de Tukey (Cuadro 3). La procedencia local de elevación intermedia (Cerro de Tumbiscatillo), correspondiente a *P. pseudostrobus*

típico, fue la que alcanzó el mayor crecimiento promedio en altura a los 24 meses de edad (57.9 cm), mientras que los individuos de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* (Comunidad Durango y Perote) crecieron aproximadamente la mitad de lo que creció la procedencia local (33.0 y 26.4 cm, respectivamente). Resultados similares se observaron en el desarrollo fenológico de la yema a los 27 meses de edad, donde las procedencias locales de *P. pseudostrobus* (Cerro de Pario y Cerro de Tumbiscatillo) mostraron índices fenológicos con valores más elevados (6.1 y 5.8, respectivamente) y las de la var. *apulcensis* (Comunidad Durango y Perote) mostraron el menor desarrollo fenológico de la yema (2.2 y 3.9, respectivamente, Cuadro 3), lo que indica grandes diferencias entre las procedencias en el patrón estacional de crecimiento del brote terminal.

Dentro de las procedencias de *P. pseudostrobus* típico se destaca la de Cerro de Tumbiscatillo (considerada local) como la de mayor crecimiento en altura a los 20 y 24 meses de edad, mientras la procedencia Santa Clara, Pátzcuaro, fue la de menor crecimiento en las tres edades evaluadas (Cuadro 3). A los 27 meses de edad, los orígenes locales de Cerro de Pario y Cerro de Tumbiscatillo presentaron un mayor desarrollo fenológico de las yemas, mientras que la procedencia de Santa Clara presentó el menor desarrollo fenológico (Cuadro 3).

Efecto de la interacción sitio x procedencia

La interacción sitio x procedencia en el diámetro basal (P = 0.0050, Cuadro 2) se expresó en que algunas procedencias tuvieron comparativamente un desempeño diferente en los dos sitios. La procedencia de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* de Comunidad Durango, en Zimapán, fue la que más drásticamente cambió de posición jerárquica de un sitio a otro: tuvo el mayor diámetro en Los Amoles (2.8 cm) y el segundo menor en Cerro de Pario (1.4 cm, Figura 1). Entre las procedencias locales, la de Cerro de Pario tuvo uno de los mayores diámetros en Los Amoles (2.4 cm) y uno de los menores en Cerro de Pario (1.5 cm); la de Cerro de Tumbiscatillo ocupó un lugar intermedio en Los Amoles (2.3 cm) y el primer lugar en Cerro de Pario (1.7 cm); la procedencia de Joya del Durazno estuvo entre las de menor diámetro en Los Amoles (1.8 cm) pero en Cerro de Pario ocupó un lugar intermedio (1.6 cm). Sin embargo, esta interacción parece poco relevante, porque en el Cerro de Pario las diferencias entre procedencias fueron mínimas, en contraste con las encontradas en Los Amoles donde hubo mayor separación en las medias de las procedencias (Figura 1). Por otra parte, algunas procedencias tuvieron un desempeño similar en ambos sitios, como es el caso de la de Perote que fue la de menor diámetro basal en ambos sitios (1.8 y 1.3 cm, respectivamente, Figura 1).

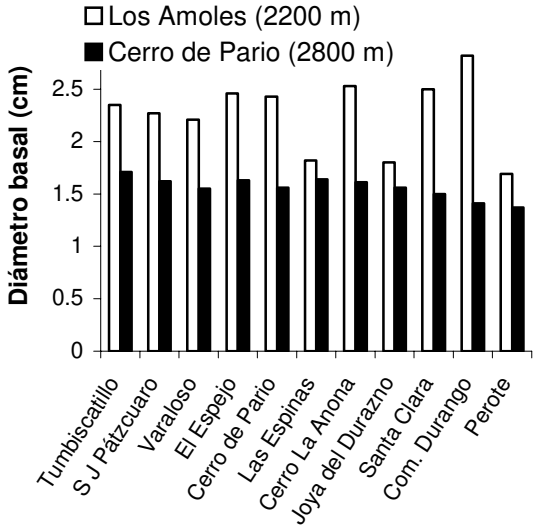


Figura 1. Diámetro basal promedio de 11 procedencias de Pinus pseudostrobus Lindl. *y* P. pseudostrobus var. apulcensis Mart. *en dos sitios de plantación con diferente elevación, ubicados en los bosques de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.*

Cuadro 3. Valores promedio y agrupamiento de Tukey (α= 0.05) de 11 procedencias de Pinus pseudostrobus *Lindl. y* P. pseudostrobus var. apulcensis *Mart.*

Procedencia[1]	Crecimiento en altura (cm)			Fenología de yema (índice a los 27 meses)
	15 meses	20 meses	24 meses	
4. Cerro de Tumbiscatillo, Parangaricutiro, Mich.	13.7 ab	44.0 a	57.9 a	5.8 a
6. San Juan, Pátzcuaro, Mich.	13.4 ab	38.0 ab	50.6 ab	4.9 ab
9. Varaloso, Coalcomán, Mich.	13.5 ab	34.6 abc	48.2 ab	5.3 ab
8. Puerto El Espejo, Coalcomán, Mich.	12.6 ab	35.5 abc	47.8 ab	4.6 ab
3. Cerro de Pario, Parangaricutiro, Mich.	13.5 ab	36.7 abc	47.2 ab	6.1 a
1. Las Espinas, Hidalgo, Mich.	12.1 ab	29.2 bcd	45.7 abc	4.9 ab
2. Cerro La Anona, Pátzcuaro, Mich.	11.4 b	35.0 abc	44.7 bc	4.8 ab
5. Joya del Durazno,Parangaricutiro, Mich.	16.2 a	33.5 abc	40.5 bcd	5.7 ab
7. Santa Clara, Pátzcuaro, Mich.	10.1 bc	27.6 cd	39.2 bcd	4.0 b
11. Comunidad Durango, Zimapán, Hgo.	6.3 c	28.5 bcd	33.0 cd	2.2 c
10. Perote, Ver.	6.5 c	20.5 d	26.4 d	3.9 bc

[1] Procedencias ordenadas de mayor a menor crecimiento en altura a los 24 meses de edad.

CONCLUSIONES

Las procedencias de *Pinus pseudostrobus* típico tuvieron un crecimiento promedio superior al de las procedencias de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*, lo que apoya su distinción taxonómica. Entre las procedencias de *Pinus pseudostrobus* típico también hubo diferencias; la procedencia con mayor crecimiento fue una local (Cerro de Tumbiscatillo, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.), con una altura promedio de planta a los dos años de edad que duplica la altura promedio de las procedencias de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*. De continuar esta tendencia en edades posteriores, es recomendable utilizar germoplasma local (en particular el de Cerro de Tumbiscatillo) para realizar reforestaciones en la región de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich.

El crecimiento promedio en el sitio de menor altitud (Los Amoles, 2200 m) fue superior al ocurrido en el sitio de mayor elevación (Cerro de Pario, 2800 m) a los dos años de edad. Se encontró una interacción significativa genotipo x ambiente en el crecimiento en diámetro basal de las plantas.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT-SIMORELOS (20000306021), CONACYT-CONAFOR (2002-C01-4655), la Coordinación de la Investigación Científica, UMSNH (5.1) y el USDA- Forest Service, Rocky Mountain Research Station (01-JV-11222063-183) por el financiamiento otorgado a CSR. A la Dirección Técnica Forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro y la Comisión Forestal de Michoacán por su colaboración en la colecta de semillas, establecimiento y mantenimiento de los ensayos. A la Central América and México Coniferous Resource Cooperative (CAMCORE) por la donación de semillas. A tres revisores anónimos que permitieron mejorar el manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Arnold R J, J B Jett, S E McKeand (1994) Natural variation and genetic parameters in Fraser fir for growth and Christmas tree traits. Can. J. For. Res. 24(7):1480-1486.

Campbell R K (1972) Genetic variability in juvenile height-growth of Douglas-fir. Silvae Gen. 21(3-4):126-129.

Farjon A, B T Styles (1997) *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotrópica. Monograph 75. New York Botanical Garden, New York. 291 p.

Favela L S (1991) Taxonomía de *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus hartwegii* Endl. Reporte Científico No. 26. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 30 p.

Gwaze D P, J A Williams, P J Kanowski, F E Bridgwater (2001) Interactions of genotype with site for height and stem straightness in *Pinus taeda* in Zimbabwe. Silvae Gen. 50 (3-4):135-140.

Li M H, J Yang, N Kräuchi (2003) Growth responses of *Picea abies* and *Larix decidua* to elevation in subalpine areas of Tyrol, Austria. Can. J. For. Res. 33:653-662.

Martínez M (1948) Los Pinos de México. Ed. Botas. México, D.F. 361 p.

Masera C O, M J Ordoñez, R Dirzo M (1992) Carbon emission from deforestation in Mexico: current situation and long-term scenarios. *In*: Carbon Emissions and Sequestration in Forest: Case Studies from Seven Developing Countries. W Makundi, J Santhaye (eds). Energy and Environment Division. Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley, CA, USA. 49 p.

Perry P J (1991) The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.

PRONARE (2000) Evaluación de la Reforestación 1999 del Programa Nacional de Reforestación. SEMARNAP. México, D.F. s/p.

SAS Institute (1988) SAS/STAT Guide for Personal Computers. SAS Institute Inc. Cary, N.C. 378 p.

Sáenz-Romero C, A Snively, R Lindig-Cisneros (2003) Conservation and restoration of pine forest genetic resources in México. Silvae Gen. 52 (5-6):233-237.

Sáenz-Romero C, R Lindig-Cisneros (2004) Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. Ciencia Nicolaíta 37:107-122.

Stead J W, B T Styles (1984) Studies of Central American pines: a revision of the '*Pseudostrobus*' group. Bot. J. Linnean Soc. 89:249-275.

Styles B T (1993) Genus *Pinus*: a Mexican Purview. *In*: Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. T P Ramamoorthy, R Bye, A Lot, J Fa (eds). Oxford University Press, New York. 812 p.

Wei R P, K Lindgren, D Lindgren (2001) Parental environment effects on cold acclimation and height growth in Lodgepole pine seedlings. Silvae Gen. 50(5-6):252-257.

Zobel B J, J T Talbert (1992) Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Ed. Limusa. México, D.F. 545 p.