

ENSAYO DE PROCEDENCIAS DE *Pinus greggii* Engelm. EN DOS LOCALIDADES DE LA MIXTECA ALTA DE OAXACA, MÉXICO

PROVENANCE TEST OF *Pinus greggii* Engelm. AT TWO LOCATIONS IN THE HIGH MIXTECA OF OAXACA, MÉXICO

Salvador Valencia Manzo^{1*}, Mario Valerio Velasco García², Martín Gómez Cárdenas³, Miguel Ruiz Muñoz† y Miguel Ángel Capó Arteaga¹

¹Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. C.P. 25315. Correo electrónico: svalencia@uaaan.com.mx ²Comisión Nacional Forestal. Chilpancingo, Guerrero. ³Campo Experimental Valles Centrales del Estado de Oaxaca, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Santo Domingo, Barrio Bajo, Etlá, Oax. C.P. 26360.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

En junio de 1997 se establecieron dos ensayos de *Pinus greggii* Engelm. en Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán de la región Mixteca Alta Oaxaqueña, con seis procedencias de la var. *greggii* (del noreste de México) y siete de la var. *australis* (del centro del país). A 2.5 años de la plantación se encontró una supervivencia global de 96 %. El crecimiento de los árboles en Tlacotepec Plumas fue superior al de Magdalena Zahuatlán en altura (20.5 %), diámetro basal (30.9 %), diámetro de copa (17.6 %) y número de ciclos de crecimiento (5.3 %). Con excepción de la última variable, el crecimiento en ambas localidades mostró la separación de dos grupos de procedencias, las del centro del país con mayores valores y las del noreste con menores, excepto la de Puerto San Juan, que en Tlacotepec Plumas creció igual que las del centro. Entre las procedencias del centro del país, en Tlacotepec Plumas la de El Madroño mostró el mayor crecimiento y la de Laguna Atezca el menor. En Magdalena Zahuatlán, la de Comunidad Durango fue la de mayor crecimiento y la de Tres Lagunas la de menor, lo cual muestra un efecto importante de interacción genotipo x ambiente. Entre las procedencias del noreste del país, la de Puerto San Juan fue superior en ambas localidades al igual que la de Santa Anita en Magdalena Zahuatlán. El número de ciclos de crecimiento presentó diferencias significativas entre procedencias en Tlacotepec Plumas, pero no evidenció interacción genotipo x ambiente.

Palabras clave: *Pinus greggii*, var. *australis*, var. *greggii*, procedencias, crecimiento juvenil, interacción genotipo x ambiente.

SUMMARY

In June 1997 two provenance tests of *Pinus greggii* Engelm. were planted at two locations (Tlacotepec Plumas and Magdalena Zahuatlán) of the so-called "High Mixteca", state of Oaxaca, México. Six provenances of the variety *greggii* (northeastern populations) and seven of the variety *australis* (from central México) were included at both test sites. After 2.5 years, overall survival was 96 %. Trees at Tlacotepec Plumas were higher as compared to those at Magdalena Zahuatlán in height (20.5 %), basal diameter (30.9 %), crown diameter (17.6 %) and number of growth cycles whorls (5.3 %). Except for

the last variable, these growth traits allowed separation of two provenance groups: those from central-México with higher values and those from northeastern with smaller values, except for the population from Puerto San Juan that showed values statistically similar to those from the central-Mexico provenances at Tlacotepec Plumas. Among the provenances from central-México, in Tlacotepec Plumas El Madroño showed the highest growth and Laguna Atezca the lowest; however, at Magdalena Zahuatlán, the Comunidad Durango was the tallest and Tres Lagunas the lowest, showing large effect of genotype environment interaction. Among the northeastern provenances, Puerto San Juan had superior growth as compared to the rest of the those provenances in both plantations, as did Santa Anita in Magdalena Zahuatlán. The number of whorls showed significant differences among provenances at Tlacotepec Plumas but it did not show any genotype environment interaction.

Index words: *Pinus greggii*, variety *australis*, variety *greggii*, provenances, juvenile growth, genotype environment interaction.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales del país han sido deteriorados de manera notable en los últimos años (Masera *et al.*, 1992). En la región Mixteca Alta Oaxaqueña se presenta uno de los ejemplos más dramáticos de los efectos del cambio del uso del suelo en el país. Becerra *et al.* (Com. Personal)¹ estiman que más de 80 % de la superficie se encuentra erosionada en diferentes intensidades. En 46 % de la región se pierden de 50 a 200 t de suelo ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en 39 % de la superficie se pierden entre 10 y 15 t de suelo ha⁻¹ año⁻¹ (Universidad Autónoma Chapingo, 1986).

¹ Becerra L F, J F Castellanos B, M Ruiz M (1993) Recuperación de áreas degradadas en la Mixteca Oaxaqueña. In: Memorias I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coah., México. p. 60.

Entre las alternativas más promisorias para solucionar el problema de erosión en la región de la Mixteca Alta Oaxaqueña se incluye la recuperación de la cobertura vegetal mediante la plantación de especies arbóreas aptas para clima templado. Con el fin de evitar los resultados negativos de las reforestaciones en esta zona, que no han alcanzado más de 15 % de supervivencia, es necesario utilizar especies tolerantes a las condiciones edáficas y climáticas regionales. Además, las especies elegidas deberán tener buena producción de residuos vegetales, ser buenas retenedoras de suelo y preferentemente mejoradoras del mismo; estos atributos se han observado en algunas plantaciones locales con *Pinus greggii* Engelm. Sin embargo, en ningún caso se conoce la procedencia u origen específico de la semilla utilizada, aspecto de importancia clave ya que algunas poblaciones naturales de la especie no podrían tener un desempeño óptimo al introducirse en este ambiente (Ruiz *et al.*, 1988; Com. Personal)².

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las diferencias en crecimiento en altura y diámetro basal, así como en diámetro de copa, número de ciclos de crecimiento y supervivencia en individuos jóvenes de 13 procedencias de *Pinus greggii*, establecidas en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se hizo en dos localidades de la región Mixteca Alta Oaxaqueña; una en Tlacotepec Plumas y la otra en Magdalena Zahuatlán (Cuadro 1). Para caracterizar las condiciones del suelo se tomaron dos muestras en cada localidad, a las que en laboratorio se determinó pH, contenido de materia orgánica y nitrógeno total. Los dos sitios presentaron un suelo con pH alcalino, pero Magdalena Zahuatlán presentó mayores valores de pH (8.1 vs 7.8), menor contenido de materia orgánica (2.5 vs. 3.0 %) y de nitrógeno total (0.10 vs. 0.18 %) que en Tlacotepec Plumas. Esto indica condiciones de suelo más desfavorables en Magdalena Zahuatlán.

El material experimental utilizado en ambas localidades incluyó a 13 procedencias de *P. greggii*, seis de la variedad *greggii* (noreste) y siete de la variedad *australis* (centro) (Donahue y López, 1999) (Cuadro 1). En ambos sitios, la plantación se hizo en junio de 1997, con el sistema de plantación de cepa común de 40 x 40 x 40 cm, con distribución en arreglo tresbolillo, a una separación de 3 x 3

m. El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 12 bloques (repeticiones) y nueve plantas por unidad experimental, para un total de 1404 plantas experimentales en cada sitio. En los sitios se incluyeron plantas de borde en el perímetro del experimento.

En el momento de la plantación se midió altura y diámetro a la base del tallo de los árboles. Después de 2.5 años de la plantación (en diciembre de 1999) se midió nuevamente la altura y el diámetro basal del tallo, y además el diámetro de copa, número de ciclos de crecimiento (equivalente al número de verticilos) y supervivencia.

Con las mediciones se determinaron los parámetros correspondientes a la altura total, el diámetro basal, el diámetro de copa, el número de ciclos de crecimiento y la supervivencia. Con los valores promedio por parcela se hizo un análisis de varianza para cada variable, con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \beta_{j(i)} + P_k + LP_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es el valor de la observación en la i -ésima localidad, en el j -ésimo bloque de la k -ésima procedencia; μ es el efecto de la media general; L_i es el efecto de la i -ésima localidad; $\beta_{j(i)}$ es el efecto del j -ésimo bloque dentro de la i -ésima localidad; P_k es el efecto de la k -ésima procedencia; $LP_{(ik)}$ es el efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la k -ésima procedencia; ϵ_{ijk} es el efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la k -ésima procedencia (error experimental).

Cuando hubo diferencias significativas entre procedencias, se hizo la prueba Tukey de comparación de medias, en cada localidad por separado. La variable supervivencia se evaluó en porcentaje, por lo que para fines del análisis estadístico se transformó con la expresión $\arcsen = (X/100)^{1/2}$, donde X = porcentaje en supervivencia (Cochran y Cox, 1965). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 6.04.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferencias entre localidades

A dos años y seis meses de la plantación, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre localidades en todas las variables ($P < 0.04$), excepto para la supervivencia. En Tlacotepec Plumas la supervivencia promedio fue de 95.8 % con valores entre procedencias de 92.6 a 99.1 %, mientras que en Magdalena Zahuatlán el

² Ruiz M M, M Gómez C, J F Castellanos B, A M Fierros G (1998) Selección de procedencias de *Pinus oaxacana* y *P. greggii* para la protección y restauración de suelos en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Informe final. INIFAP. Oaxaca, México. 92 p.

Cuadro 1. Localización y características ambientales de los sitios de prueba y de las 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm. evaluadas en la Mixteca Alta, Oaxaca.

| Localidad | Latitud N | Longitud O | Altitud (m) | Temp. [†] (°C) | Pp ^{**} (mm) | pH del suelo ^{***} |
|---------------------------------|--------------|---------------|----------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Sitios del ensayo | | | | | | |
| Tlacotepec Plumas, Coixtlahuaca | 17° 52' | 97° 26' | 2120 | 15 | 625 | 7.8 |
| Magdalena Zahuatlán, Nochixtlán | 19° 24' | 97° 12' | 2160 | 15 | 690 | 8.2 |
| Procedencias[†] | | | | | | |
| 1) Puerto Los Conejos, Coah. | 25° 28' | 100° 34' | 2450 | 16 | 600 | 6.0 |
| 2) Santa Anita, Coah. | 25° 27' | 100° 34' | 2500 | 16 | 600 | 6.8 |
| 3) Puerto San Juan, Coah. | 25° 25' | 100° 33' | 2650 | 16 | 600 | 6.1 |
| 4) Los Lirios, Coah. | 25° 23' | 100° 34' | 2400 | 16 | 600 | 7.4 |
| 5) Jamé, Coah. | 25° 21' | 100° 36' | 2450 | 16 | 600 | 7.2 |
| 6) Placetes, N.L. | 24° 56' | 100° 10' | 2100 | 15 | 650 | 7.1 |
| 7) El Madroño, Qro. | 21° 16' | 99° 10' | 1650 | 17 | 737 | 4.5 |
| 8) Tres Lagunas, Qro. | 18° 30' | 99° 11' | 1900 | nd | nd | nd |
| 9) El Piñón, Hgo. | 20° 56' | 99° 12' | 1830 | 17 | 700 | 6.2 |
| 10) Laguna Atezca, Hgo. | 20° 49' | 98° 46' | 1330 | 20 | 1438 | 4.5 |
| 11) Molango, Hgo. | 20° 49' | 98° 46' | 1200 | 17 | 1750 | 4.4 |
| 12) Xochicoatlán, Hgo. | 20° 47' | 98° 40' | 1700 | 17 | 1625 | 4.5 |
| 13) Comunidad Durango, Hgo. | 20° 46' | 99° 23' | 1850 | 17 | 1100 | 6.0 |

[†]Temp. = Temperatura media anual; ^{**}Pp = Precipitación media anual; ^{***}pH en agua, relación suelo-solución 1:2; [†]Procedencias 1-6 *P. greggii* var. *greggii*, 7-13 var. *australis*; nd = no disponibles.

promedio fue de 94.1 % con valores entre procedencias de 90.7 a 99.1 %. En Tlacotepec Plumas, los promedios de crecimiento fueron de 129 cm para altura, 39 mm en diámetro basal, 73 cm en el diámetro de copa y nueve ciclos de crecimiento. En cambio, en la localidad Magdalena Zahuatlán, el promedio en altura fue de 107 cm, el de diámetro basal fue de 30 mm, el de diámetro de copa fue de 62 cm y tuvo ocho ciclos de crecimiento.

Los valores de supervivencia de *P. greggii* var. *greggii* son parecidos a la supervivencia reportada por Sámano *et al.* (2003) para la misma variedad en la Sierra de Arteaga, Coah., donde se indica una supervivencia de 95 % a los cuatro años de plantación (1990-1994), y superiores a la registrada por Ornelas *et al.* (2001) a los cuatro años cinco meses de plantado, también para la misma variedad en otro ensayo de la Sierra de Arteaga, Coah., donde señalan una supervivencia de 68.9 %, que se atribuye en parte a los años secos ocurridos entre 1992-1996. Respecto a altura y diámetro basal, Ornelas *et al.* (2001) mencionan valores promedio de 83 cm y 23 mm, respectivamente, a los cuatro años cinco meses de plantado; Sámano *et al.* (2003) registraron valores promedio de altura y diámetro basal de 77.1 cm y 19.4 mm, respectivamente, a los cuatro años de la plantación. En estos dos casos los valores son menores a los que se registraron en las dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Es muy probable que uno de los motivos por el cual los estudios de Ornelas *et al.* (2001) y Sámano *et al.* (2003) hayan detectado menores crecimientos es que en la Sierra de Arteaga, Coah. se tiene menor precipitación, en comparación con la registrada en las localidades de la Mixteca Alta donde se hizo el presente estudio. López *et al.* (1999)

registraron un incremento promedio anual en altura y diámetro mayor (55 cm y 12 mm, respectivamente) para la var. *greggii* en un ensayo establecido en Patoltecoya, Puebla.

El incremento medio anual de altura y diámetro de la var. *australis* en la Mixteca Alta fue menor al encontrado en otros estudios con la misma variedad. Por ejemplo, Salazar *et al.* (1999) encontraron un incremento medio anual en altura de 87.6 cm en un ensayo establecido en Patoltecoya, Puebla, mientras que López *et al.* (1999) en otro ensayo establecido en esa misma localidad encontraron un incremento promedio anual en altura y diámetro de 121 cm y 24 mm, respectivamente. Azamar *et al.* (2000) señalaron incrementos medios en altura y diámetro de 109 cm y 18.6 mm, para esta variedad en Metepec, estado de México, mientras que en la var. *australis* Mass *et al.* (1995) registraron incrementos medios anuales en altura y diámetro de 68 a 105 cm y 9 a 17 mm, respectivamente, en un ensayo establecido en el Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, en Uruapan, Mich. Estos valores son similares a los encontrados en las dos localidades del presente estudio.

Las diferencias encontradas entre Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán en todas las variables de crecimiento se atribuyen a las diferencias del suelo. La Tlacotepec Plumas presentó menores valores de pH (7.8 vs. 8.1), mayores porcentajes de materia orgánica (3.0 vs. 2.5 %) y mayores porcentajes de nitrógeno total (0.18 vs. 0.10 %) que en Magdalena Zahuatlán. No obstante, no se encontraron diferencias entre localidades en la supervivencia, lo cual es una evidencia de que el pH, la materia orgánica y el nitrógeno total de los suelos no influyeron en forma

determinante sobre esta variable, o que la especie tiene alta capacidad de adaptación a las condiciones de estos sitios, ya que en ambos se presentó una supervivencia elevada. De hecho, *P. greggii* se ha utilizado en ambientes marginales en el sur de África, Colombia y Brasil (Dvorak *et al.*, 1995). El menor valor de pH en Tlacotepec Plumas favorece a la especie, ya que a menores valores de pH manifiesta mayor crecimiento (López *et al.*, 2000).

Diferencias entre procedencias

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre procedencias en ambas localidades y en todas las variables de crecimiento ($P < 0.01$), excepto en supervivencia. En ambas localidades se distinguen en general dos grupos de procedencias con respecto al crecimiento de las plantas, las de la var. *australis* (Qro. e Hgo.) con los mayores valores, y las de la var. *greggii* (Coah. y N. L.) con los menores (Cuadro 2), excepto la de Puerto San Juan, Coah. que presentó valores estadísticamente iguales a algunas procedencias del centro del país en ambas localidades, y la de Santa Anita, Coah. en Magdalena Zahuatlán (Cuadros 3 y 4). El número de ciclos de crecimiento y la supervivencia no permitieron la separación de los dos grupos de procedencias en ninguno de los sitios (Cuadro 4).

Cuadro 2. Valores mínimos y máximos de las características de crecimiento en las dos variedades de *Pinus greggii* Engelm. en cada uno de los sitios de evaluación (Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán, Oaxaca).

| Característica | Tlacotepec Plumas | | Magdalena Zahuatlán | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | Var. <i>australis</i> | Var. <i>greggii</i> | Var. <i>australis</i> | Var. <i>greggii</i> |
| Altura (cm) | 146.3 - 176.0 | 78.4 - 133.2 | 115.8 - 142.8 | 78.4 - 102.1 |
| Diámetro basal (mm) | 43.0 - 48.2 | 27.7 - 41.5 | 28.8 - 38.5 | 22.6 - 28.0 |
| Diámetro de copa (cm) | 72.5 - 96.2 | 46.9 - 74.9 | 65.9 - 80.7 | 43.0 - 57.5 |
| Ciclos de crecimiento | 9 - 10 | 8 - 9 | 8 - 10 | 8 - 9 |

Dvorak *et al.* (1995) también encontraron que, en general, árboles de la var. *australis* crecieron el doble que árboles de la var. *greggii*, después de tres años de plantarse en Colombia, Brasil y Sudáfrica. Asimismo, Capó *et al.* (Com. personal)³ en un estudio de crecimiento de *P. greggii* en diferentes tipos de suelos, encontraron que las procedencias del centro del país (var. *australis*) mostraron mayores alturas que las del noreste (var. *greggii*).

La separación de las procedencias de *P. greggii* del centro y del noreste de México también se ha mostrado en diferentes estudios fisiológicos y morfológicos (Dvorak *et*

al., 1995), con crecimientos más rápidos (López *et al.*, 1999), mayor potencial de semillas (López y Donahue, 1995) y mayor velocidad de emergencia (López *et al.*, 2000) en la var. *australis* que en la var. *greggii*.

Es posible que las diferencias en crecimiento se deban a que los dos grupos de poblaciones han evolucionado aisladas entre sí y en ambientes distintos, lo cual ha modificado su componente genético. La var. *australis* crece en suelos con pH más ácido y la var. *greggii* en suelos con pH cercano al neutro (Cuadro 1). Los pH bajos de los suelos de donde procede la var. *australis*, causados por mayores precipitaciones (Donahue y López, 1996), probablemente hayan determinado que crezca más rápido que la var. *greggii*; además, la var. *australis* se localiza a menores altitudes y latitudes, con mayor temperatura y precipitación media anual, que la var. *greggii*, lo cual concuerda con lo mencionado por López *et al.* (2000). Según López y Donahue (1995), las diferencias encontradas entre las procedencias del centro y del norte del país, además de deberse a las diferencias en suelos, condiciones de temperaturas y precipitación, también se deben a diferencias genéticas. Esto es confirmado por Ramírez *et al.* (1997), quienes encontraron un mayor porcentaje de loci polimórficos y número de alelos por locus en las poblaciones del centro, en comparación con las poblaciones del norte del país. Parra-guirre *et al.* (2002) también encontraron un elevado porcentaje de loci polimórficos en *P. greggii* con una amplia diversidad genética a nivel de especie, y una fuerte diferenciación entre las poblaciones.

Dentro de la var. *australis*, la procedencia de Laguna Atezca, Hgo. presentó en Tlacotepec Plumas, valores menores en la mayoría de las variables de crecimiento, mientras que la de El Madroño, Qro. presentó los valores mayores, con diferencias significativas entre ellas ($P < 0.05$). En Magdalena Zahuatlán, la procedencia de la var. *australis* que presentó los menores valores en la mayoría de las variables de crecimiento fue Tres Lagunas, Qro., mientras que la de Comunidad Durango, Hgo. presentó los mayores valores con diferencias significativas entre ellas (Cuadro 3). Entre las procedencias de la var. *greggii*, la de Puerto San Juan, Coah. presentó mayores valores en ambas localidades y fue estadísticamente igual a las de la var. *australis*. Asimismo, la procedencia de Santa Anita, Coah., presentó mayores valores en Magdalena Zahuatlán, y fue igual a las de la var. *australis* (Cuadro 3). El mayor crecimiento de estas procedencias se debe posiblemente a que crecen en suelos con pH más ácidos que otras de la misma región. Sin embargo, si el efecto está asociado al pH del suelo se esperaría que la procedencia de Puerto Los Conejos, Coah. también tuviera un buen crecimiento, pero no fue así. Ramírez *et al.* (1997) clasificaron a las procedencias de Puerto Los Conejos y Puerto San Juan,

³Capó A M A, R López A, E Cornejo O (1993) Crecimiento de *Pinus greggii* en suelo de ocho localidades. In: Memorias I Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Saltillo, Coah., México. p. 75.

Coah. en grupos distintos por las distancias genéticas entre ellas, con base en *loci* enzimáticos.

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables altura y diámetro basal a 2.5 años de plantación en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm. establecido en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca.

| Procedencia | Altura (cm) | | Diámetro (mm) | |
|---|-------------|-------------|---------------|-----------|
| | Tlacotepec | Magdalena | Tlacotepec | Magdalena |
| Puerto Los Conejos, Coah. | 90.38 d | 79.30 d | 29.2 b | 22.7 c |
| Santa Anita, Coah. | 88.04 d | 102.06 bcd | 27.7 b | 26.7 bc |
| Puerto San Juan, Coah. | 133.25 c | 97.50 bcd | 41.5 a | 27.9 bc |
| Los Lirios, Coah. | 86.69 d | 78.18 d | 29.3 b | 23.4 c |
| Jamé, Coah. | 88.24 d | 80.32 cd | 28.6 b | 22.6 c |
| Placetas, N. L. | 78.31 d | 78.39 d | 28.3 b | 23.5 c |
| El Madroño, Qro. | 175.80 a | 134.6 ab | 46.5 a | 33.6 ab |
| Tres Lagunas, Qro. | 160.82 ab | 115.67 abcd | 43.2 a | 28.7 abc |
| El Piñón, Hgo. | 162.21 ab | 121.96 ab | 48.1 a | 35.5 ab |
| Laguna Atezca, Hgo. | 146.31 bc | 123.98 ab | 43.0 a | 34.8 ab |
| Molango, Hgo. | 156.12 abc | 119.49 abc | 45.6 a | 34.3 ab |
| Xichicotlan, Hgo. | 152.35 abc | 120.11 ab | 43.2 a | 31.8 abc |
| Com. Durango, Hgo. | 162.75 ab | 142.77 a | 48.3 a | 38.3 a |
| Promedio | 129.33 | 107.26 | 38.7 | 29.5 |
| DHS ($\alpha = 0.05$) | 26.41 | 39.24 | 7.7 | 10.0 |

Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

Según estudios realizados por Dvorak *et al.* (1995) y Alba *et al.* (1998), entre las procedencias de la var. *australis*, la de El Madroño, Qro. presenta mayor crecimiento en altura y diámetro; pero, Salazar *et al.* (1999) no encontraron diferencias en crecimiento con respecto a otras de la misma variedad, lo cual coincide con el presente estudio, posiblemente porque a 2.5 años de la plantación no es tiempo suficiente para que muestre mayor potencial de crecimiento.

De acuerdo con los resultados a esta edad, cualquiera de las procedencias del centro del país puede seleccionarse para plantación en ambas localidades y obtener buenos resultados. En cambio, de las procedencias del norte, en Tlacotepec Plumas se seleccionaría la de Puerto San Juan, Coah., y en Magdalena Zahuatlán se seleccionarían las de Puerto San Juan y Santa Anita, Coah. Debido a que estas procedencias fueron iguales a la mayoría de las del centro, podría ser más conveniente seleccionar las primeras por su mayor tolerancia a sequía, por haber evolucionado en ambientes de baja precipitación y suelos pobres. Con la edad los árboles tendrán mayores requerimientos y pudiera ser que algunas procedencias que actualmente muestran buenos resultados después tengan crecimientos deficientes, y otras podrían mostrar mejores resultados por ser más aptas a las condiciones climáticas adversas que se pudieran presentar.

Interacción genotipo x ambiente

El análisis de varianza mostró que existe interacción genotipo x ambiente en todas las características evaluadas ($P < 0.01$), excepto en número de ciclos de crecimiento y

en supervivencia. La mayoría de las procedencias tienen el mismo patrón de crecimiento en ambas localidades, pero en Tlacotepec Plumas presentaron mayores valores que en Magdalena Zahuatlán. Sin embargo, las procedencias de Santa Anita, Coah., Puerto San Juan, Coah. y Placetas, N. L., no siguen la misma tendencia (Cuadro 3), lo que da lugar a la interacción genotipo x ambiente.

Cuadro 4. Comparación de medias para las variables diámetro de copa y ciclos de crecimiento a 2.5 años de plantación en un ensayo de *Pinus greggii* Engelm. establecido en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca.

| Procedencia | Diámetro de copa (cm) | | Ciclos de crecimiento | |
|---|-----------------------|------------|-----------------------|-----------|
| | Tlacotepec | Magdalena | Tlacotepec | Magdalena |
| Puerto Los Conejos, Coah. | 53.20 d | 45.43 e | 7.0 bcd | 6.2 a |
| Santa Anita, Coah. | 51.00 d | 53.38 cde | 6.5 cd | 6.9 a |
| Puerto San Juan, Coah. | 74.99 cb | 57.43 bcde | 7.3 abc | 6.2 a |
| Los Lirios, Coah. | 50.18 d | 43.19 e | 6.5 cd | 6.0 a |
| Jamé, Coah. | 51.82 d | 46.38 e | 6.6 cd | 6.1 a |
| Placetas, N. L. | 47.19 d | 48.09 de | 6.4 d | 6.3 a |
| El Madroño, Qro. | 96.10 a | 73.63 ab | 7.2 bcd | 6.9 a |
| Tres Lagunas, Qro. | 86.24 ab | 66.02 abcd | 6.9 bcd | 6.1 a |
| El Piñón, Hgo. | 90.77 a | 76.17 a | 7.6 ab | 6.8 a |
| Laguna Atezca, Hgo. | 72.54 c | 65.91 abcd | 7.3 abc | 6.9 a |
| Molango, Hgo. | 90.24 a | 76.32 a | 8.1 a | 7.1 a |
| Xichicotlan, Hgo. | 86.06 ab | 70.67 abc | 7.2 abcd | 6.8 a |
| Com. Durango, Hgo. | 93.58 a | 80.68 a | 7.7 ab | 7.0 a |
| Promedio | 72.6 | 61.8 | 7.1 | 6.6 |
| DHS ($\alpha = 0.05$) | 13.39 | 18.96 | 0.9 | 1.9 |

Valores en una misma columna seguidos de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

El número de ciclos de crecimiento y la supervivencia no presentaron interacción genotipo x ambiente, lo cual implica que las procedencias tienen un patrón similar en los dos sitios. Salazar *et al.* (1999) tampoco encontraron efecto de interacción sitio x especie y sitio x procedencia en el crecimiento anual en altura ni en el número de ciclos de crecimiento, al evaluar el crecimiento de cuatro especies subtropicales de *Pinus*, que incluyen a *P. greggii*.

CONCLUSIONES

A 2.5 años de plantado, *Pinus greggii* presentó una alta supervivencia a pesar de los suelos pobres de las dos localidades donde se estableció el ensayo. La variedad *australis* presentó un mayor crecimiento que la variedad *greggii*, en altura, diámetro basal y diámetro de copa, pero no en ciclos de crecimiento. Las mejores condiciones del sitio de Tlacotepec se reflejaron en mayor crecimiento en todas las procedencias evaluadas. En las dos variedades es posible seleccionar la procedencia con mayor tasa de crecimiento para cada sitio de plantación. La procedencia El Madroño de la var. *australis* fue la de mayor crecimiento en altura y diámetro basal en Tlacotepec, mientras que la procedencia Comunidad Durango lo fue en Magdalena. De la variedad *greggii* la procedencia Puerto San Juan destacó en ambas localidades.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las personas de las comunidades de Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán por colaborar en el establecimiento de la plantación. Al Programa Forestal del Colegio de Postgraduados y al Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por proporcionar el germoplasma para el ensayo. Al Dr. Javier López Upton por sus importantes aportaciones para mejorar el escrito. Al M. C. Jorge Alvarado López por colaborar en la revisión del documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba L J, L Mendizábal H, A Aparicio R (1998) Respuesta de un ensayo de procedencia/progenie de *Pinus greggii* Engelm. en Coatepec, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 1(1):25-28.
- Azamar O M, J López U, J J Vargas H, A Plancarte B (2000) Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. *In: Ponencias I Congreso Nacional de Reforestación*. Montecillo, Texcoco, México. pp:1-9.
- Cochran W G, G M Cox (1965) *Diseños Experimentales*. Trillas. México. 661 p.
- Donahue J K, J López U (1996) Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in natives forests. *For. Ecol. Manag.* 82:145-157.
- Donahue J K, J López U (1999) A new variety of *Pinus greggii* (*Pinaceae*) in Mexico. *SIDA* 18:1083-1093.
- Dvorak W S, J E Kietzka, J K Donahue (1995) Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* Engelm. in the tropics and subtropics. *For. Ecol. Manag.* 83:123-131.
- López A J L, J J Vargas H, C Ramírez H, J López U (1999) Variación intraspecífica en el patrón de crecimiento del brote en *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Chapingo S. Ciencias For. M. Amb.* 5:133-140.
- López U J, J K Donahue (1995) Seed production of *Pinus greggii* in natural stands in Mexico. *Tree Planters' Notes* 46(3):86-92.
- López U J, A J Mendoza H, J Jasso M, J J Vargas H, A Gómez G (2000) Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Madera y Bosques* 6(2):81-94.
- Masera O, M J Ordoñez, R Dirzo (1992) Emisiones de carbono a partir de la deforestación en México. *Ciencia* 43:151-153.
- Mass P J, J J García M, M A Cervantes S (1995) Ensayos de especies y procedencias de árboles en el campo experimental Barranca de Capatitzio. *Ciencia For.* 78(20):111-141.
- Ornelas H G, E Aldrete M, E H Cornejo O (2001) Ensayo de tres procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga. *Foresta-AN. Nota Técnica No. 6 UAAAN*. Saltillo, Coah. 12 p.
- Parraguirre L C, J J Vargas H, P Ramírez V, H S Azpíroz R, J Jasso M (2002) Estructura de la diversidad genética en poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:279-287.
- Ramírez H C, J J Vargas H, J Jasso M, G Carrillo C, H Guillén A (1997) Variación isoensimática de diez poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 31:223-230.
- Sámamo D J L, L M Torres E, A Cano P, E Aldrete M, E H Cornejo O (2003) Supervivencia y crecimiento de cinco especies de pino bajo tratamientos a la vegetación en Arteaga, Coahuila. *Agrofaz* 3(2):407-413.
- Salazar G J G, J J Vargas H, J Jasso M, J D Molina G, C Ramírez H, J López U (1999) Variación del patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques* 5(2):19-34.
- Universidad Autónoma Chapingo (1986) Levantamiento fisiográfico y evaluación de la erosión de las Mixtecas Oaxaqueñas Alta y Baja. Centro Regional Universitario Sur. Universidad Autónoma Chapingo. Pinotepa Nacional, Oax., México. 371 p.