



NOTA DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH NOTE

# CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* DE NUEVE PROCEDENCIAS EN GALEANA, NUEVO LEÓN

## MENSURATION CHARACTERISTICS OF *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* FROM NINE PROVENANCES IN GALEANA, NUEVO LEÓN

Rodrigo Rodríguez Laguna<sup>1</sup>, Ramón Razo Zárate<sup>1</sup>, Salvador Valencia Manzo<sup>2</sup> y Joel Meza Rangel<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los ensayos de procedencias pueden incluir un intervalo amplio de la distribución natural de las especies a fin de identificar los patrones de variación en las que se ubiquen las mejores fuentes de semilla. El objetivo del presente estudio fue comparar los valores promedio de altura y diámetro en árboles de nueve procedencias naturales de *Pinus greggii* var. *greggii* del norte de México establecidos en el ejido 18 de Marzo, municipio Galeana, Nuevo León. El diseño experimental fue de bloques completos al azar para controlar el componente ambiental, especialmente las condiciones de suelo y pendiente; las mediciones de las variables altura total y diámetro se realizaron a los 4.5, 5.0 y 10.9 años de plantados. Los análisis de varianza mostraron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la altura total y diámetro entre las procedencias en todas las fechas de evaluación; la de Agua Fría destacó en la altura desde la primera evaluación con 1.37 m y superó al resto en las subsiguientes con 2.4 y 6.8 m, respectivamente. En contraste, los individuos de Puerto San Juan tuvieron las alturas menores: 1.0, 1.8 y 5.8 m, respectivamente. Los diámetros de los árboles de La Tapona fueron un poco superiores a los de Agua Fría en la última evaluación. Asimismo, se observó que los árboles con mayor diámetro procedían de sitios con menor altitud, longitud y latitud.

**Palabras clave:** Características dasométricas, cerro El Potosí, ensayo de procedencias, Galeana, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii*, semillas forestales.

### ABSTRACT

Provenance assays can include a broad interval of the natural distribution of species in order to identify the variation patterns of the best sources of seeds. The objective of this study was to compare the average values of height and diameter in *Pinus greggii* var. *greggii* trees of nine natural provenances of northern Mexico, established at Ejido 18 de Marzo, in the municipality of Galeana, Nuevo León. The experimental design consisted of randomized complete blocks to control the environmental component, particularly the conditions of the soil and the slope; the total height and diameter variables were measured at 4.5, 5.0 and 10.9 years after the trees were planted. Variance analyses showed significant statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) in total height and diameter between the different provenances in all evaluation dates; the tallest specimens in the first evaluation were found in Agua Fría (1.37 m), surpassing those of all other sources in the subsequent evaluations as well, with 2.4 and 6.8, respectively. In contrast, the specimens from Puerto San Juan had the lowest heights: 1.0, 1.8 and 5.8 m, respectively. The diameters of the trees from La Tapona were somewhat larger than those of the Agua Fría specimens in the last evaluation. Furthermore, it was observed that the trees with the largest diameter came from the sites with the lowest values for altitude, longitude, and latitude.

**Key words:** Mensuration characteristics, El Potosí mountain, provenance assay, Galeana, *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii*, forest seeds.

Fecha de recepción / date of receipt: 18 de enero de 2012. Fecha de aceptación / date of acceptance: 25 de junio de 2013.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Correo-e: rodris71@yahoo.com

<sup>2</sup> Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

## INTRODUCCIÓN

Los ensayos de procedencias constituyen el método experimental más empleado para comparar la respuesta de las plantas producidas a partir de semillas que provienen de poblaciones diferentes, en sitios y ambientes distintos previamente caracterizados. Estos ensayos se pueden llevar a cabo en ambientes extremos donde se pretenden establecer las plantaciones, lo cual permite incluir un gran intervalo de la distribución natural de la especie de interés, con el objeto de valorar los patrones de variación e identificar regiones amplias en las que se encuentren las mejores fuentes de germoplasma, en términos de adaptación al sitio de plantación, producción de semilla y productividad de los árboles (Zobel y Talbert, 1988). Además, con ese tipo de trabajos se ha demostrado que las especies presentan tipos de variación muy distintos, aunque comparten localidades con características ambientales similares (Alía et al., 2003).

*Pinus greggii* Engelm. ex Parl. es una especie forestal nativa de México distribuida en pequeños rodales a lo largo de la Sierra Madre Oriental (Martínez, 1992); se considera rústica y con buenas características para desarrollarse con cierta facilidad en terrenos pobres de diferentes orígenes geológicos (González, 1978). Posee la habilidad de crecer rápidamente; ha sido reportada como tolerante a la sequía (Vargas y Muñoz, 1988) y al ataque de algunas plagas fuera de su distribución natural (Dvorak et al., 2000). Por lo tanto, es utilizada con fines de protección o recuperación de áreas degradadas (Martínez, 1992).

En lo referente a este trabajo, los árboles tienen más de 10 años plantados y se presume la existencia de interacciones entre el genotipo y el ambiente, lo cual se refleja en el fenotipo y otras características de los individuos. El objetivo de la presente investigación fue comparar los valores promedio de altura y diámetro en árboles de nueve procedencias naturales de *Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *greggii* del norte de México, establecidos en el Ejido 18 de Marzo, municipio Galeana, Nuevo León.

Se dio seguimiento a un ensayo experimental de *Pinus greggii* var. *greggii* (Donahue y López, 1999) que para el año 2010 tenían 10.9 años de plantados y se evaluaron nueve poblaciones naturales de los estados de Coahuila y Nuevo León (Cuadro 1). Los lotes de semilla de las nueve procedencias se colectaron en 1997 y se sembraron en noviembre de 1998 dentro de un invernadero del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Estado de México. Las plantas se mantuvieron en vivero y se procuró que crecieran robustas y vigorosas hasta el momento de la plantación.

## INTRODUCTION

Provenance assays are the most commonly utilized experimental method for comparing the response of plants produced from seeds from different origins, in different, previously characterized environments and locations. These assays can be carried out in extreme environments where plantation establishment is intended; this allows inclusion of a very broad interval of the natural distribution of the species of interest in order to assess the variation patterns and identify extensive regions with the best source of seeds in terms of adaptation to the plantation site, seed production and tree productivity (Zobel and Talbert, 1988). Besides, this kind of works have proven that different species have very different types of variations even if they share locations with similar environmental characteristics (Alía et al., 2003).

*Pinus greggii* Engelm. ex Parl. is a forest species native to Mexico; it is distributed in small stands along the Sierra Madre Oriental (Martínez, 1992); it is considered as rustic and as having appropriate characteristics for developing with relative ease in poor soils of various geological origins (González, 1978). It has the ability to grow rapidly; it has been reported as tolerant to drought (Vargas and Muñoz, 1988) and to attack by certain pests outside its natural distribution (Dvorak et al., 2000). It is therefore utilized for purposes of protection or recuperation of degraded areas (Martínez, 1992).

The trees studied in this work were planted more than 10 years ago, and the existence of interactions between the genotype and the environment is presumed; these interactions are reflected in the phenotype as well as in other characteristics of the specimens. The objective of this research was to compare the average values of height and diameter in *Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *greggii* trees from nine different areas of northern Mexico, established at 18 de Marzo Ejido, in Galeana municipality, Nuevo León state.

A follow up of an experimental assay on *Pinus greggii* var. *greggii* (Donahue and López, 1999) was carried out in 2010, i.e. 10.9 years after the trees were planted, and nine natural populations of the states of Coahuila and Nuevo León were assessed (Table 1). Batches of seeds were collected from the nine provenances in 1997 and planted in November, 1998, in a greenhouse at Colegio de Postgraduados in Texcoco, Mexico state. The plants were kept in the greenhouse, and efforts were carried out to make them grow sturdy and vigorous until plantation time.

In September, 1999, pine trees were planted in a plot of Ejido 18 de Marzo, located at 24°53' North and 100°12' West, at an altitude of 2 209 m, where the mean annual precipitation is 650 mm and the mean annual temperature is 16 °C. The B5 kw" (c) type of



Cuadro 1. Localización geográfica de nueve poblaciones naturales de *P. greggii* var. *greggii* en el norte del país.Table 1. Geographical location of nine natural *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* populations in the north of the country.

Procedencia	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)	Precipitación (mm)
	Latitud norte	Longitud oeste		
Puerto El Conejo, N L	25° 28'	100° 35'	2 520	650
Santa Anita, Coah.	25° 27'	100° 34'	2 560	650
Agua Fría, N L	25° 26'	100° 30'	2 400	633
Puerto San Juan, Coah	25° 25'	100° 33'	2 613	600
Los Lirios, Coah	25° 23'	100° 31'	2 420	600
El Penitente, Coah	25° 22'	100° 54'	2 405	500
Jamé, Coah	25° 21'	100° 34'	2 552	600
Las Placetas, N L	24° 55'	100° 11'	2 450	750
La Taponá, N L	24° 43'	100° 06'	2 130	650

En septiembre de 1999, se efectuó la plantación en una parcela del Ejido 18 de Marzo, ubicada a 24°53' latitud norte y 100°12' longitud oeste, a una altitud de 2 209 m, cuya precipitación media anual es de 650 mm y su temperatura media anual de 16 °C. El tipo de clima B<sub>S</sub> kw"lc" corresponde a seco semi-cálido con invierno fresco, muy extremoso, con lluvias en verano y precipitación invernal no significativa; los meses más lluviosos en la región son agosto y septiembre (García, 1988). La textura del suelo en la capa superficial es limosa-arcillosa con estructura moderadamente dura.

La plantación se estableció en un terreno agrícola abandonado, con una pendiente promedio de 19% y exposición noreste. La parcela contaba con cercado de alambre de púas, debido al uso agrícola anterior, y el suelo presentaba un nivel de erosión moderado; a fin de evitar un deslizamiento de suelo mayor, se cavaron cepas de 30 x 30 x 30 cm, en cuyo centro se colocó la planta, con el objeto de formar un cajete más ancho que hondo para capturar agua de lluvia.

La siguiente temporada de lluvia se repusieron plantas de la misma procedencia, aunque no fueron identificadas. Durante los dos años posteriores a la plantación y antes de comenzar el periodo de lluvia, se realizó deshierbe y renovación del cajete.

### Diseño experimental

A fin de controlar el componente ambiental, especialmente las condiciones de suelo y pendiente, en el ensayo se utilizó un diseño de bloques completos al azar (Cochran y Cox, 1965) para separar los efectos genéticos de las características fenotípicas (Quijada, 1980). La plantación se dividió en 30 bloques transversales a la pendiente, y en cada uno se incluyeron las nueve procedencias que se asignaron al azar en parcelas compuestas por hileras de cuatro plantas a lo largo de la pendiente, lo cual sumó un total de 120 plantas por procedencia (1 080 plantas totales). Los individuos se establecieron con un espaciamiento de 2 x 2 m para generar

climate is dry, semi-warm with a cool winter, very extreme, with rains in summer and non-significant winter precipitations; August and September are the most rainy months in the region (García, 1988). The texture of the superficial layer of the soil is silty-clayey with a moderately hard structure.

The plantation was established in an abandoned agricultural land with a 19% average slope and northeastern exposure. The plot was surrounded with barbed wire. Because of previous agricultural use, the erosion level of the soil was moderate; in order to avoid a greater landslide, pits of 30 x 30 x 30 cm were dug, and a plant was placed at the center of each so as to form a planting hole with more width than depth in order to capture rain water.

In the next rainy season, trees from the same provenance were planted, but they were not identified. During the two years that followed the plantation, before the onset of the rainy season, the plot was weeded and the sides of the planting holes were renewed.

### Experimental design

In order to control the environmental component, particularly the conditions of the soil and the slope, a randomized complete block design was used in the assay (Cochran and Cox, 1965) to separate the genetic effects from the phenotypic characteristics (Quijada, 1980). The plantation was divided into 30 blocks crosswise in relation to the slope; each block included the nine provenances, randomly allocated in plots; each plot contained rows of four plants along the slope, adding up to 120 plants per provenance (1 080 plants total). The specimens were established at 2 x 2 m intervals, so as to generate a density of 2 500 plants per ha<sup>-1</sup> on a total surface of 4 320 m<sup>2</sup>.



una densidad de 2 500 plantas  $\text{ha}^{-1}$  que ocuparon un total de 4 320  $\text{m}^2$ .

### Variables evaluadas

Cada árbol de la plantación se midió en tres ocasiones: la primera a los 4.5 años (febrero de 2004), la segunda a los 5 años (septiembre de 2004) y la tercera a los 10.9 años (julio de 2010). La supervivencia se examinó de manera directa únicamente en las primeras dos evaluaciones; la altura total, considerada desde la base hasta la yema apical del árbol, se calculó mediante una regla telescópica con precisión al centímetro; el diámetro se obtuvo con un vernier Mitutoyo CD-S6°C cuya precisión fue al milímetro: en febrero y septiembre de 2004 se midió a la base del tallo y en 2010 a la altura del pecho (1.3 m de altura).

### Análisis estadístico

Para determinar los promedios de las variables evaluadas (altura total y diámetro) en cada parcela, dichas variables fueron sometidas a un análisis de varianza bajo el diseño de bloques completos al azar; cuando hubo diferencias significativas entre procedencias se efectuó la prueba Tukey de comparación de medias. A partir de los valores promedio por procedencia se estimó la correlación simple entre las variables evaluadas en los árboles con las coordenadas geográficas y la precipitación del sitio de origen del germoplasma para establecer el posible patrón geográfico de las características dasométricas que con el tiempo se pueda presentar.

Los resultados de supervivencia obtenidos de *Pinus greggii* var. *greggii* en la primera medición (4.5 años) fueron de 92.7%, de manera general, con valores promedio extremos de 96.4% para Puerto San Juan y de 86% para Agua Fría. Seis meses después la supervivencia continúo casi igual.

A partir de los seis años cuando los ejemplares alcanzaron alturas de 1 a 2.5 m, el dueño de la parcela tramitó un permiso oficial para vender algunos como árboles de navidad, sin llevar un registro de su ubicación en los bloques o de sus procedencias; extraío árboles de toda la plantación, lo que condujo a excluir la evaluación de supervivencia a los 10.9 años. Sin embargo, en general la plantación tuvo 71.4% en este concepto, porcentaje que indica altas densidades de árboles por superficie; en la última evaluación ninguno de ellos presentaba plagas y/o enfermedades o muerte por algún otro factor.

### Altura a diferentes edades

El análisis de varianza mostró que entre las procedencias existen diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la altura total obtenida a los 4.5, 5.0 y 10.9 años (Cuadro 2). La altura de los árboles a los 4.5 años de plantados exhibió un promedio general de 1.25 m; destacó la procedencia de Agua Fría, con

### Evaluated variables

Each tree in the plantation was measured on three occasions: the first at 4.5 years (February, 2004); the second, at 5 years (September, 2004), and the third, at 10.9 years (July, 2010). Survival was directly examined in the first two evaluations; total height, considered from the base to the apical bud of the tree, was estimated by means of a telescopic ruler with an accuracy within one centimeter; the diameter was obtained by means of a Mitutoyo CD-S6°C vernier caliper of milimetric accuracy; the diameter was measured at the base of the stem in February and September, 2004, and at breast height (1.3 m) in 2010.

### Statistical analysis

In order to determine the average measures of the evaluated variables (total height and diameter) in each plot, these variables were subject to a variance analysis for a randomized complete block design; when significant differences between sources were found, Tukey's mean comparison test was applied. With the average values per provenance, the simple correlation of the variables evaluated on the trees with the geographical coordinates and precipitation of the site of origin of the germoplasm in order to establish the potential geographical pattern of the dasometric characteristics that may occur with time.

The overall survival result obtained for *Pinus greggii* var. *greggii* in the first measurement (at 4.5 years) was 92.7%, with extreme average values of 96.4% for Puerto San Juan and 86% for Agua Fría. Six months later, the survival rates remained almost the same.

After the first six years, when the specimens reached heights of 1 to 2.5 m, the owner of the plot applied for a special permit to sell some as Christmas trees, without keeping a record of their location within the blocks or of their provenances; he drew trees from the entire plantation, which led to the exclusion of the evaluation of survival rates at 10.9 years. Nevertheless, the overall plantation had a survival rate of 71.4%, which is indicative of high densities of trees per surface area; in the last evaluation, none of them had pests and/or diseases or deaths due to any other factor.

### Height at different ages

The variance analysis showed that there are significant statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) between provenances as to the total height obtained at 4.5, 5.0 and 10.9 years (Table 2). The average height of the trees at 4.5 years after planted was 1.25 m; the largest total average height -1.36 m- was observed in Agua Fría, while the lowest -1.05 m, i.e. 20 cm beneath the general mean- was found in Puerto San Juan (Figure 1).





1.36 m en promedio de altura total, mientras que la de Puerto San Juan alcanzó 1.05 m, es decir, 20 cm por debajo de la media general (Figura 1).

Cuadro 2. Resultados del análisis de varianza y significancia de la altura total a 4.5, 5.0 y 10.9 años en plantas de nueve procedencias naturales de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* del norte de México.

Table 2. Variance analysis results and significance of the total height at 4.5, 5.0 and 10.9 years in *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* plants from nine natural provenances in northern Mexico.

Variables	Cuadrados Medios			
	Bloques	Procedencia	Bloq*Proc	Error
	(29) <sup>a</sup>	(8)	(231)	(651)
Altura total a 4.5 años	2.095	0.779**	0.374	0.153
Altura total a 5.0 años	5.529	2.629**	0.785	0.327
Altura total a 10.9 años	12.454	6.137**	1.334	0.789

<sup>a</sup> En paréntesis se presentan los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación; Significativo al  $P \leq 0.01$

The degrees of freedom corresponding to each source of variation are shown between parentheses; Significant at  $P \leq 0.01$

La procedencia de Agua Fría exhibió los mayores crecimientos en altura en la primera evaluación, así como en la segunda, realizada seis meses después; en este último periodo logró un incremento promedio de 1.04 m y una altura de 2.41 m a los cinco años. Por el contrario, en esa misma fecha y periodo, las plantas de la procedencia de Puerto San Juan solo incrementaron 0.77 m, lo cual representó una altura total de 1.82 m. Cabe destacar que la diferencia en altura a esa edad de las procedencias extremo fue de 0.59 m.

En esa misma edad las copas de los árboles no se tocaban entre sí debido a la densidad de la plantación, por tanto, los árboles no manifestaban formas o estructuras que indicaran competencia por luz. Esto hace suponer que las diferencias encontradas en la expresión de las características dasométricas de los árboles se deben principalmente al efecto de los factores ambientales y de suelo propias del sitio de plantación.

La Figura 1 muestra que los árboles de la procedencia de Agua Fría continuaron con las mayores alturas en promedio (6.80 m) a los 10.9 años de plantados. El tiempo transcurrido entre la segunda y la tercera evaluación fue de 5.9 años, tiempo en el que los árboles incrementaron 0.74 m en altura promedio por año. En el otro extremo, Puerto San Juan consignó la menor altura de todas las procedencias (5.84 m), es decir, una altura por debajo de la media general (0.69 m) de todo el ensayo. Cabe señalar que en la última medición ya se podía advertir signos de una fuerte competencia entre los árboles, en especial por espacio y luz, ya que no se ha modificado la densidad original de la plantación; bajo estas condiciones la procedencia de Santa Anita superó ligeramente (0.76 m por año) a la de Agua Fría.

Estas diferencias entre procedencias sugieren que los árboles aprovechan mejor las ventajas locales, y responden de manera distinta a un mismo patrón ambiental dado en el sitio de plantación (Rodríguez et al., 2008). Aunque el sitio de plantación

The Agua Fría provenance presented the largest growths in height in the first evaluation, as well as in the second, six months later; in this last period it achieved an average increase of 1.04 m and a height of 2.41 m at 5.0 years. Instead, during the same period, the plants from Puerto San Juan increased only by 0.77 m and reached a total height of 1.82. It is worth highlighting that the difference in height at this age from the extreme provenances was 0.59 m.

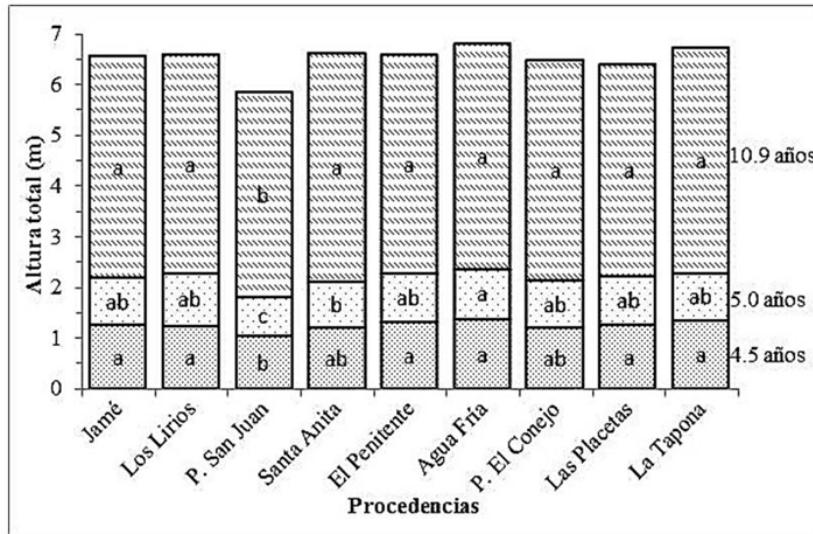
Also at this age, the treetops did not touch one another due to the density of the plantation; therefore, the trees did not manifest forms or structures indicating that they were competing for light. Thus, it may be assumed that the differences found in the expression of the dasometric characteristics of the trees are primarily caused by the effect of environmental factors and of the characteristics of the soil of the plantation site.

Figure 1 shows that the trees from Agua Fría continued to have the greatest average heights (6.80 m) at 10.9 years after planted. The period of time between the second and the third evaluation was 5.9 years, during which the average height of the trees increased by 0.74 m each year. On the opposite extreme, Puerto San Juan registered the lowest height (5.84 m) among all provenances, ie. a height beneath the overall mean (0.69 m) throughout the assay. We should note that the last measurement already showed signs of a strong competition between the trees, especially for space and light, since the original density of the plantation remained unmodified; under these conditions, the Santa Anita provenance slightly surpassed (0.76 m per year) that of Agua Fría.

These differences between provenances suggest that the trees benefit more from the local advantages and respond differently to the same environmental pattern in the plantation site (Rodríguez et al., 2008). Although the plantation site is within the natural distribution area of the species in northern Mexico, differences

está dentro del área de distribución natural de la especie en el norte de México, se han registrado diferencias en crecimiento en altura entre procedencias, lo que puede estar asociado a la temperatura, la humedad, el suelo, la disponibilidad de espacio y la captación de luz y de nutrientes.

in growth in terms of height between provenances have been registered; these may be associated to temperature, humidity, the soil, the availability of space, and the uptake of light and of nutrients.



Las barras con letras iguales comparadas para cada serie son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

Altura total (m) = Total height (m); Procedencias = Provenances; 10.9 years = 10.9 años; 5.0 años = 50 years.

Bars with the same letters compared for each series are statistically equal ( $P \leq 0.05$ ).

Figura 1. Crecimiento en altura de árboles de nueve procedencias naturales de *Pinus greggii*

Engelm. ex Parl. var. *greggii* del norte del México establecidos en Galeana, N L.

Figure 1. Growth in height of *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* from nine natural provenances in northern Mexico, established in Galeana, N L.

Por otra parte, en diferentes plantaciones de *Pinus greggii*, Dvorak et al. (1996) encontraron que a los tres años las procedencias de Los Lirios, Las Placetas y Jamé alcanzaron alturas promedio de 2.2 y 2.4 m, cifras superiores a las registradas en este trabajo, incluso al contar con una edad menor. Sin embargo, Sámano et al. (2003) revelaron valores menores de 0.85 m en árboles de 5.0 años plantados en la Sierra de Arteaga, Coah. En dicho análisis estuvieron representadas la mayoría de las procedencias evaluadas en el Cerro El Potosí, lo cual indica que las plantas en edades juveniles tienen un mayor crecimiento en este sitio. Al haberse identificado diferencias en este parámetro de los ejemplares estudiados en distintos ambientes, se puede inferir que existe un efecto de interacción genotipo-ambiente (López et al., 2004).

### Diámetro a diferentes edades

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre las procedencias en el diámetro a la base de 4.5 y 5.0 años y en el diámetro normal a los 10.9 años (Cuadro 3). La prueba de Tukey de comparación de medias señala que las procedencias de Agua Fría y La Taponia a los 4.5 años generan el mayor diámetro a la base con 3.9 cm, mientras que las de Puerto El Conejo y Puerto San Juan tuvieron el valor más bajo

On the other hand, in different *Pinus greggii* plantations, Dvorak et al. (1996) found that after three years the provenances of Los Lirios, Las Placetas and Jamé reached -even at an earlier age- average heights of 2.2 and 2.4 m, which are above those registered in this paper. However, Sámano et al. (2001) showed values under 0.85 m in trees five years after planted on the Sierra de Arteaga, Coah. That analysis included most of the evaluated provenances on the El Potosí mountain, which indicates that young plants grow taller there. From the differences in this measure observed between specimens studied in different environments it may be inferred that there is an interaction effect between the genotype and the environment (López et al., 2004).

### Diameter at different ages

The variance analysis showed significant statistical differences ( $P \leq 0.01$ ) between provenances in the base diameter at 4.5 and 5.0 years and in normal diameter at 10.9 years (Table 3). According to Tukey's means comparison test, Agua Fría and La Taponia generated the largest base diameter (3.9 cm), while Puerto El Conejo and Puerto San Juan had the lowest values, with only 3.3 cm. Six months later, the diameter of the trees of La Taponia increased by 1.9 cm, which is the highest value for all

con sólo 3.3 cm. Seis meses después, los árboles de La Taponia incrementaron su diámetro a la base en 1.9 cm, lo que constituye el valor más alto de todas las procedencias (5.8 cm). En cambio, la procedencia que menos incrementó su diámetro basal en dicho periodo fue Puerto San Juan (1.5 cm) (Figura 2).

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza y significancia del diámetro en plantas de 4.5, 50 y 109 años de nueve procedencias naturales de *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* del norte de México.

Table 3. Variance analysis results and significance of the diameter of *P. greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* plants at 4.5, 50 and 10.9 years in northern Mexico.

Variables	Cuadrados Medios			
	Bloques	Procedencia	Bloq*Proc	Error
	(29) <sup>a</sup>	(8)	(231)	(651)
Diámetro a la base con 4.5 años	1 320	475**	220	102
Diámetro a la base con 5.0 años	2 147	903**	336	163
Diámetro normal con 10.9 años	21	26**	5	4

<sup>a</sup> En paréntesis se presentan los grados de libertad correspondientes a cada fuente de variación; "Significativo al P ≤ 0.01

<sup>a</sup> The degrees of freedom corresponding to each source of variation are shown between parentheses; "Significant at P ≤ 0.01

En lo relativo a diámetro basal, Ornelas *et al.* (2001) y Sámano *et al.* (2003) obtuvieron valores de 2.3 cm en árboles de 50 años de plantados en la Sierra de Arteaga, Coahuila, que son inferiores a los registrados en este trabajo. En dichas investigaciones estuvieron representadas la mayoría de las procedencias que fueron evaluadas en el presente análisis, lo que confirma que en ese sitio las plantas tienen un desarrollo más vigoroso de este componente en edades juveniles. En otro estudio, Muñoz *et al.* (2009) registraron incrementos en diámetro más notorios en este aspecto, en tres especies tropicales en otras entidades, posiblemente debido a que las plantaciones se establecieron en suelo y clima favorables para las especies seleccionadas.

La última evaluación se efectuó a los 10.9 años de edad y se tomó el diámetro a la altura del pecho; nuevamente, los ejemplares de la procedencia de La Taponia alcanzaron el valor más alto en esta variable (9.6 cm), que rebasa a la media general del ensayo por 1.1 cm. Por el contrario, los correspondientes a la procedencia de Puerto San Juan, mantuvieron el más bajo (7.7 cm). Las cifras extremas registradas en las procedencias variaron 1.9 cm.

Cabe señalar que existe una alta densidad de individuos en la plantación, situación que posiblemente no permite el incremento en diámetro a causa de la competencia por espacio y luz; sin embargo, las diferencias entre procedencias manifiestan el grado de adaptabilidad de los árboles al sitio, lo cual permite suponer que las procedencias responden de distinto modo a un mismo patrón ambiental. Aunque el sitio de plantación se ubica dentro del área de distribución natural de la especie en el norte del país, se han registrado diferencias entre las procedencias en el crecimiento de altura y diámetro en respuesta a las condiciones de humedad, temperatura y suelo locales.

provenances (5.8 cm). On the other hand, the provenance with the lowest increase (1.5 cm) in base diameter in the same period was Puerto San Juan (Figure 2).

#### Cuadrados Medios

#### Bloques

#### Procedencia

#### Bloq\*Proc

#### Error

Ornelas *et al.* (2001) and Sámano *et al.* (2003) obtained values of 2.3 cm for the base diameter of the trees 50 years after planted on the Sierra de Arteaga, Coahuila; these are lower than the values registered in this paper. Their research included most of the provenances evaluated in this analysis, which confirms that this component develops more vigorously at a younger age. In another study, Muñoz *et al.* (2009) registered more notorious increases in diameter in three tropical species in other states, possibly due to the fact that the plantations were established on a soil and in a climate that are favorable for the selected species.

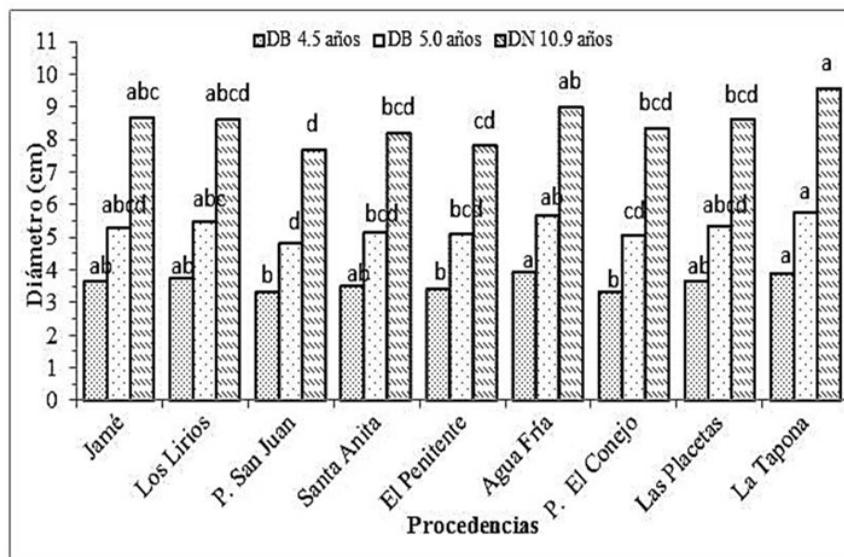
The last evaluation was carried out at 109 years of age, and the diameter at breast height was measured; again, the specimens from La Taponia reached the highest value for this variable (9.6 cm), which is 1.1 cm above the overall mean of the assay. Conversely, the specimens from Puerto San Juan had the lowest value (7.7 cm). The extreme figures registered in the different provenances varied by 1.9 cm.

It is worth noting that there is a high density of specimens at the plantation, a situation which may not allow the diameter to increase because of competition for space and light; however, the differences between provenances show the degree of adaptability of the trees to the site, which allows the assumption that provenances respond differently to the same environmental pattern. Although the plantation site is located within the natural distribution area of the species in the north of the country, differences in height and diameter growth between provenances have been registered in response to local conditions of humidity, temperature, and soil.

#### Correlation analysis

The growth of the trees in terms of height show a negative correlation ( $P \leq 0.05$ ) with the altitude of the place of origin ( $r = -0.74^*$





Las barras con letras iguales comparadas para cada serie son estadísticamente iguales ( $P \leq 0.05$ ).

DB 4.5 años = BD 4.5 years; DB 5.0 años = BD 5.0 years; DN 10.9 = ND 10.9 years; Diámetro (cm) = Diameter (cm);

Procedencias = Provenances

Bars with the same letters compared for each series are statistically equal ( $P \leq 0.05$ ).

Figura 2. Crecimiento en diámetro de árboles de nueve procedencias naturales de *P. greggii* Engelm.

ex Parl. var. *greggii* del norte del país establecidos en Galeana, N L.

Figure 2. Growth in diameter of *P. greggii* Engelm. ex Parl. var *greggii* trees from nine natural provenances in the north of the country, established in Galeana, N L.

## Análisis de correlación

El crecimiento en altura de los árboles en las primeras dos evaluaciones correlacionó negativamente ( $P \leq 0.05$ ) con la altitud del lugar de origen ( $r=-0.74^*$  y  $r=-0.65$ ), lo que significa que las procedencias de menor altitud tuvieron árboles con mayor altura, circunstancia que pudiera explicarse por la elevada competencia por espacio y luz. En la última evaluación la correlación se perdió ( $r=-0.57$  ns). El diámetro a la base también tuvo una correlación negativa con la altitud, mientras que el diámetro normal, con la latitud ( $r=-0.63^*$ ), longitud ( $r=-0.73^*$ ) y altitud ( $0.75^*$ ). Esto revela que las procedencias de latitudes bajas con longitud y altitud menores tuvieron los árboles con mayor diámetro normal. Con el resto de las variables no se presentó un patrón definido.

Derivado de lo anterior, se puede concluir que las nueve procedencias de *Pinus greggii* var. *greggii* mostraron diferencias significativas respecto al crecimiento en altura y diámetro en las tres evaluaciones. La de Agua Fría, N L mantuvo el mayor crecimiento en altura total desde la primera hasta la última medición (6.8 m) y fue ligeramente superada por el de La Tapon, N L en el diámetro normal (9.6 cm) a los 10.9 años. Los árboles que desarrollan mayor crecimiento en altura en edades juveniles se sitúan en procedencias que tienen una elevación menor; en cambio, los que alcanzan mayores diámetros corresponden a las procedencias de origen cuya altitud, longitud y latitud son menores.

and  $r=-0.65$ ) in the first two evaluations. This means that provenances with the lowest altitude had higher trees, a circumstance that may be accounted for by the high level of competition for space and light. The correlation was lost ( $r=0.57$  ns) in the last evaluation. The base diameter also had a negative correlation with the altitude, as did the normal diameter with the latitude ( $r=-0.63^*$ ), longitude ( $r=-0.73^*$ ) and altitude ( $0.75^*$ ). This shows that low latitude provenances with lower longitudes and altitudes had trees with a larger normal diameter. No definite pattern was observed for the rest of the variables.

It may be concluded from the above that the nine provenances showed significant differences as to growth in height and diameter in the three evaluations. Agua Fría, N L maintained the largest growth in total height from the first to the last measurements (6.8 m) and was slightly exceeded by La Tapon, N L as to the normal diameter (9.6 cm) at 10.9 years. The trees with the highest growth in height at an early age are located in provenances with a lower altitude; on the other hand, those that reach the largest diameters correspond to the provenances with lower altitudes, longitudes and latitudes.

End of the English version

## REFERENCIAS

- Alía, R, D. Agúndez, N. Alba, S. C. González M. y A. Soto. 2003. Variabilidad genética y gestión forestal. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, España. Ecosistemas XII (3):1697-2473.
- Cochran, W. G. y G. M. Cox 1965. Diseños experimentales. Editorial Trillas, S. A. México, D.F. México. 661 p.
- Donahue, J. K. and J. López U. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in México. SIDA. 18:1083-1093.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka and J. K. Donahue. 1996. Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii*. Engelm. in the tropics and subtropics. Forest Ecology and Management 83: 123-131.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka, J. K. Donahue, G. R. Hodge and T. K. Stanger. 2000. *Pinus greggii*. In: Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species. CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources, North Carolina State University. Raleigh, NC USA. pp. 52-73.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a.edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México. 219 p.
- González V., C. E. 1978. Breve análisis de la investigación sobre plantaciones forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Dirección General de Investigación y Capacitación Forestal. Publicación Especial No. 13. México, D.F. México. pp. 83-87.
- López U., J. C. Ramírez H., O. Plascencia E. y J. Jasso M. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades. Agrociencia 38 (4):457-464.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. 3º. ed. Editorial Botas. México, D. F. México. 368 p.
- Muñoz F., H. J., V. M. Coria A., J. J. García S. y M. Che Balam. 2009. Evaluación de una plantación de tres especies tropicales de rápido crecimiento en Nuevo Urecho, Michoacán. Rev. Cien. For. en Méx 34 (106):61-87.
- Ornelas H., G. E. Aldrete M. y 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. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 12 p.
- Quijada R. M. 1980. Ensayo de progenie In: FAO. Mejora Genética de Árboles Forestales Estudio FAO. Montes No. 20. Mérida, Venezuela pp. 224-230.
- Rodríguez L., R. S. Valencia M., J. Meza R., M. A. Capó A. y A. Reynoso P. 2008. Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. Revista Fitotecnia Mexicana. 31 (1):19-26.
- Sámano D., J. L., L. M. Torres E., A. Cano P., E. Aldrete M. y E. H. Cornejo O. 2003. Sobrevivencia y crecimiento de cinco especies de pino bajo tratamientos a la vegetación en Arteaga, Coahuila. Agrafaz 3:407-413.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. Agrociencia 72: 197-208.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento de árboles forestales. Limusa. México, D. F. México. 545 p.

