

CRECIMIENTO INICIAL EN PLÁNTULAS DE 12 PROCEDENCIAS DE *Pinus hartwegii* Lindl. BAJO CONDICIONES DE VIVERO

EARLY GROWTH IN SEEDLINGS FROM TWELVE PROVENANCES OF *Pinus hartwegii* Lindl. IN NURSERY CONDITIONS

Héctor Mario Benavides Meza¹, Maira Oriana Gazca Guzmán¹, Stephanie Fabiola López López¹, Francisco Camacho Morfín², Diana Young Fernández Grandizo¹, María del Pilar de la Garza López de Lara³ y Felipe Nepamuceno Martínez²

RESUMEN

Pinus hartwegii se distribuye ampliamente en México e incluso en Guatemala, Honduras y El Salvador. Sus poblaciones en el centro del país conforman los bosques a mayor altitud y con frecuencia coinciden con áreas naturales protegidas, por lo que su importancia se relaciona con los servicios ambientales que generan estos ecosistemas. Se han realizado varios estudios con procedencias de *P. hartwegii* para reconocer la variación de diversos parámetros morfológicos; sin embargo, la comparación del crecimiento inicial de plántulas bajo condiciones de vivero no se ha llevado a cabo. Se evaluó la respuesta de 12 procedencias del Eje Neovolcánico mediante un diseño experimental de bloques al azar con 56 repeticiones, y los parámetros que se midieron en las plántulas fueron: diámetro basal y altura, así como sus respectivas tasas de crecimiento, durante un período de 10 meses. En el material del Cofre de Perote se registraron valores significativamente diferentes en altura, diámetro y tasa de crecimiento, lo que permitió separarlo del resto de las localidades evaluadas. No obstante, la agrupación de las procedencias no mostró una variación entre ellas, asociada a un patrón geográfico latitudinal y longitudinal, por lo que se supone que esta obedece a condiciones locales que han seleccionado a los individuos a nivel de población.

Palabras clave: Crecimiento en vivero, Desierto de los Leones, *Pinus hartwegii*, procedencias, Valle de México, variabilidad de poblaciones.

ABSTRACT

Pinus hartwegii is widely distributed in Mexico and even reach the Republic of El Salvador in Central America. The populations of this species in the central region of Mexico are located in the highest zones of the mountain ranges, commonly designated as natural protected areas, important generators of ecosystemic services to the society. Studies related to variation among provenances of *P. hartwegii* had been developed, especially in cones and leaves morphology, as well as seed characteristics. Variation in the initial growth among seedlings of different provenances growing in nursery conditions has never been determined. This response was evaluated in 12 provenances from the mountain range named Eje Neovolcánico that cross Mexico from east to west and an experimental design of random blocks with 56 repetitions from each provenance was used. The parameters measured in the seedlings were basal diameter and height, in addition to the growing rates of these variables in a period of 10 months. Seedlings from the population of Cofre de Perote showed the most extreme values among provenances in these variables and were significantly different. However, the groups defined after the statistical analysis do not allow the identification of any geographic pattern related to a latitudinal or longitudinal gradient, and the variation found among the provenances of this species could be related to local conditions in which the populations developed and drive the selection process in those individuals.

Key words: Nursery growth, Desierto de los Leones, *Pinus hartwegii*, provenances, Valle de Mexico, population variability.

Fecha de recepción: 25 de febrero de 2010.

Fecha de aceptación: 29 de marzo de 2011.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Correo-e: benavides.hector@inifap.gob.mx

² Ex investigador del CENID-COMEF, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

³ Programa de Doctorado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados.

INTRODUCCIÓN

Pinus hartwegii Lindl. es un árbol de 15 a 30 m de altura, de corteza agrietada color pardo rojizo; hojas de 8 a 16 cm de largo, color verde claro, medianamente gruesas, algo rígidas y generalmente en fascículos de tres (Perry, 1991). Los conos son largamente ovoides, de 9 a 10 cm de largo, de color rojizo muy oscuro, persistentes, casi sésiles y normalmente por pares. Las semillas son aladas, negras, de 5 a 7 mm de largo y con ala (Martínez, 1948).

El estudio de las poblaciones de *P. hartwegii* es importante debido a su amplia y discontinua distribución en el país, ya que se localiza entre los 16° 20' a 25° 03' de latitud norte y 92° 20' a 103° 55' de longitud oeste, en un intervalo altitudinal de 3,000 a 4,000 m, en bosques de clima templado, subhúmedo y con lluvias deficientes en invierno (Eguluz, 1978; Rzedowski, 1978; Musálem y Solís, 2000). La especie se presenta desde el norte del país, al centro y sur de la República (Figura 1), desde Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, y Jalisco hasta Tlaxcala, Oaxaca, Chiapas e incluso zonas montañosas de Guatemala, Honduras y El Salvador (Perry, 1991). En la región central de México su distribución coincide frecuentemente con numerosas áreas naturales protegidas, que se localizan en las altas montañas como es el caso del Desierto de los Leones en donde, de manera relativa, se ha garantizado su conservación (Méndez *et al.*, 2001).

INTRODUCTION

Pinus hartwegii Lindl. is a tree species up to 30 m in height, brown color fissured bark, light green color needles, 8 to 16 cm long and congregated in fascicles of three, slightly rigid and thick (Perry, 1991). Cones are slightly ovoid, 9 to 10 cm long, dark red color, persistent, almost sessile and commonly in pairs. Seeds are winged, black color, 5 to 7 mm long (Martínez, 1948). The forests of this species are located in temperate subhumid climates with scarce precipitations in winter, in an altitudinal range between 3,000 to 4,000 m. (Eguluz, 1978; Rzedowski, 1978; Musálem and Solís, 2000).

The knowledge of *P. hartwegii* populations is an important issue because of the wide and discontinuous distribution in Mexico, that goes from the Northern part of to Mexican Republic in the states of Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, to the central (Jalisco to Tlaxcala) and Southern regions (Oaxaca, Chiapas), and even more, they reach the high mountains of Central America in Guatemala, Honduras and El Salvador (Figure 1) (Perry, 1991).

This species is commonly located in the upper areas of the high mountain ranges in the central region of Mexico, many of them considered as natural protected areas. In the water basin of Valle de México, *P. hartwegii* has been registered from Epazoyucan, Hidalgo State to Tlalpan, D. F. and Amecameca,



Fuente: Perry, 1991
Source: Perry (1991)

Figura 1. Distribución de *Pinus hartwegii* Lindl.
Figure 1. Distribution of *Pinus hartwegii* Lindl.

En la Cuenca del Valle de México se localiza entre las cotas altitudinales de 2,600 a 4,200 m y se ha registrado desde Epazoyucan, Hgo. hasta Tlalpan, D. F. y en Amecameca, Edo. de Méx. (Calderón y Rzedowski, 2001), lo que le confiere un carácter periurbano a sus poblaciones que ha influido en la declinación de las mismas, particularmente las ubicadas al sur y suroeste del Valle de México, pues es una zona de depósito atmosférico elevado al estar ubicada en la vía de salida del drenaje atmosférico de la zona metropolitana (Pérez *et al.*, 2006). A partir de los años ochenta del siglo pasado, los bosques que se localizan, principalmente en el suroeste del Valle de México, mostraron una declinación inducida por gases oxidantes procedentes de la Ciudad de México, de los cuales el ozono era el agente principal (de Bauer y Hernández, 1986). Dentro del bosque periurbano del Área Metropolitana de la Ciudad de México, la declinación se manifiesta con mayor claridad en el Desierto de los Leones, pues es una zona de depósito atmosférico elevado, como consecuencia de ubicarse en la vía de salida del drenaje atmosférico de la zona metropolitana (Pérez *et al.*, 2006).

La utilización de procedencias de *P. hartwegii* puede ser una alternativa adecuada de restauración para esas poblaciones en la cuenca del Valle de México, ya que las condiciones de crecimiento de las poblaciones serán similares al sitio donde ya existía, considerando el uso de genotipos que demuestren una mejor adaptación a las condiciones del lugar, con base en la variación genética ligada a diferencias ambientales que presentan las especies forestales de amplia distribución (Ashby, 1987; Rodríguez, 2006; García *et al.*, 2007). Los ensayos de procedencia son una herramienta útil para evaluar la respuesta de distintos genotipos de una especie, los cuales se pueden llevar a cabo desde el vivero con el fin de contar con plantas forestales de calidad genética adecuada (Climent *et al.*, 2008).

Zobel y Talbert (1984) refieren que las especies forestales con grandes áreas de distribución muestran una gran variación genética, relacionada generalmente con gradientes de tipo geográfico y que se expresa en una plasticidad fenotípica de las características fisiológicas y morfológicas de la población, algunas relacionadas con la adaptación a factores limitantes. La variación intraespecífica, es decir la existente entre ecotipos de la misma especie, se debe a la selección natural en los individuos que es influida por los factores ambientales que se presentan a lo largo del área de distribución, así como los que influyen en las poblaciones aisladas por las discontinuidades geográficas.

En el caso particular de *Pinus hartwegii* se han realizado diversos estudios, entre los que destaca el trabajo de Méndez *et al.* (2001) quienes evaluaron las características de semillas de distintas localidades, concluyeron que las del Parque Nacional Iztza-Popo presentaban los mayores valores de longitud, ancho y

Estado de México State, between 2,600 to 4,000 masl (Calderón and Rzedowski, 2001), where the periurban forests of Mexico City are commonly located. This distribution expose *P. hartwegii* to declining factors such as atmospheric pollution that affect them, especially in the South and Southwest of the valley, because that zone is the way out route of the atmospheric drainage and therefore, and accumulates the highest concentration of ozone from the metropolitan Zone of Mexico City (Pérez *et al.*, 2006). An example of this situation is found in the nowadays named Recreational and Cultural Park Desierto de los Leones, formerly considered a national park, where *P. hartwegii* is relatively protected (Méndez *et al.*, 2001), however, since the 1980's the forests of this and other species began to show a declination promoted by their exposure to oxidant gases, mainly ozone, from the urban area of Mexico City (de Bauer and Hernández, 1986).

An alternative to restore the periurban forest populations in the Valle de México mountain ranges could be the use of provenances of *P. hartwegii*, because the environmental conditions where those provenances are established are similar to those where trees of this species were growing in the basin, considering the genetic variation that forest species with wide ranges of distribution exhibit (such as *P. hartwegii*), commonly linked to environmental differences (Ashby, 1987; Rodríguez, 2006; García *et al.*, 2007). Genotypes that exhibit a better adaptation to local conditions should be used to promote forest plantations and provenances test studies are useful procedures to determine the response of different genotypes and even more, they could be used in nursery conditions to determine the variation among provenances (Climent *et al.*, 2008).

Zobel and Talbert (1984) mentioned that forest species with huge distribution areas showed a genetic variation, commonly associated to geographic gradients. The variation is expressed in a phenotypic plasticity sustained in physiological and morphological characteristics related to environmental conditions. Intra-specific variation is driven by environmental factors that influenced local populations along the distribution gradient, as well as those that influenced isolated populations because of geographic discontinuities.

Some studies about the genetic variation in *Pinus hartwegii* have been done, commonly evaluating morphological differences among provenances. Méndez *et al.* (2001) studied the variation in seed characteristics from various populations and concluded that those from Iztza-Popo National Park showed the highest values in length, width and weight, whereas the seeds from Cofre de Perote National Park were the smallest. Iglesias and Tivo (2006) registered an extensive inter-population morphometric variability in leaves, cones and seeds from Cofre de Perote trees, whereas Canacasco *et al.* (2005) reported a variation in the length, width and thickness of seeds in provenances of *P. hartwegii* from Nevado de Toluca, Cofre

peso; mientras que, las provenientes del Parque Nacional Cofre de Perote les correspondían los menores. Aunado a lo anterior, Iglesias y Tivo (2006) registraron una amplia variabilidad morfológica interpoblacional en acículas, conos y semillas en el Cofre de Perote. De acuerdo con Pérez y Eguiluz (1985), la distribución altitudinal de la especie afecta la longitud de las acículas, ya que los árboles de las partes con menos altitud tienen hojas más largas que los de las localidades más altas. Estos autores afirman que en *P. hartwegii* existen razas geográficas y altitudinales, las que se adaptan al ambiente específico donde habitan. Narave y Taylor (1997) mencionan que en el tamaño y forma de los pinos de este taxón incide el clima, comúnmente asociado a la acción de los vientos. Canacasco *et al.* (2005) consignan la variación en la longitud, ancho y grosor de semillas de *P. hartwegii* recolectadas en el Nevado de Toluca, Cofre de Perote y Nevado de Colima, y que en esta última las presentaron las estructuras de mayor tamaño.

No obstante lo anterior, hasta la fecha no se ha publicado ningún estudio relacionado con la variación entre procedencias en el crecimiento de plántulas de *P. hartwegii* bajo condiciones de vivero.

Con base en lo anterior, este trabajo formó parte de un gran proyecto que tuvo como propósito central buscar alternativas de restauración de la cubierta arbórea ubicada a mayor altitud en el Desierto de los Leones. Una de las estrategias a probar fue la introducción de procedencias de las especies arbóreas nativas dominantes para el establecimiento de plantaciones (Ashby, 1987; Rodríguez, 2006)

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de semillas

Se obtuvieron semillas de *Pinus hartwegii* de 12 procedencias localizadas a lo largo del Eje Neovolcánico. Los lotes 1 y 2 fueron recolectados por parte de los autores y los conos se cosecharon en 10 árboles maduros y sanos situados a una distancia de 50 m o más uno del otro. El resto de los lotes fueron proporcionados por los organismos gubernamentales PROBOSQUE (3 al 6) y CORENA (9 a 12) y una compañía particular de germoplasma forestal (lotes 7 y 8) (Cuadro 1).

Producción de plántulas

Dado que en el vivero de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría del medio Ambiente (CORENA) en San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, D. F., produce y abastece de planta a los programas de reforestación que se realizan en el Distrito Federal, se solicitó la colaboración de dicha dependencia operativa para la producción y mantenimiento de las plántulas relacionadas con el proyecto y la ubicación del experimento en sus instalaciones.

de Perote and Nevado de Colima, which exhibited the biggest structures. Pérez and Eguiluz (1985) found a variation in the length of leaves in trees located at different altitudinal sites and they concluded that trees from lower places had longer leaves than those in higher locations and also mentioned that *P. hartwegii* has geographic and altitudinal races adapted to local conditions; Narave and Taylor (1997) conclude that the size and form of trees of *P. hartwegii* was a response to wind and conditions that prevail where they are.

The studies mentioned before showed the extensive work done in the variation of morphological characters among provenances of *P. hartwegii*; however no studies have been accomplished about the variation in physiological characteristic or growth rate among provenance seedlings in nursery conditions.

These experiments were part of a research project that had the aim to determine the provenance or group of provenances fitted to restore the tree cover of *P. hartwegii* in the Desierto de los Leones Recreational Park.

MATERIALS AND METHODS

Seed Collection

Seeds from 12 provenances of *Pinus hartwegii* located along the Eje Neovolcánico were collected by some of the authors (lots 1 and 2), or obtained from forestry agencies (lots 3 to 6 from PROBOSQUE, and 9 to 12 from CORENA), or private collector (lots 7 and 8), (Table 1). Cones from Nevado de Colima and Cofre de Perote provenances were collected from 10 mature and healthy trees, at a 50 m distance or more from each other.

Seedling Production

Since the CORENA nursery in San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, D. F. produces and provides plants for the reforestation programs of Distrito Federal, their support was asked for production and maintenance of the experimental seedlings, as well as for the location of the experiment. The Park of Desierto de los Leones is under the jurisdiction of the Comisión de Recursos Naturales (CORENA) of the Secretaría de Medio Ambiente (Environment Ministry), which is part of the Distrito Federal Government. CORENA is in charge of the reforestation of this and other periurban forested areas.

Cones were sun dried and shacked to extract the seeds, which were cleaned in the traditional way. Seeds were disinfected with 0.6% chloride, imbibed for 24 h and put into plastic bags which contained a fungicide (Thiram®) for a six hour period of before seeding in a seedbed the 29th of June, 2004

Cuadro 1. Ubicación de las poblaciones de *Pinus hartwegii* donde se recolectó el germoplasma.Table 1. *Pinus hartwegii* locations where seeds were collected

Procedencia	Coordenadas	Altitud (msnm)	Fuente
Colima, Jal. ⁽¹¹⁾	19°33'89"N 103°37'14"O	3,815	Recolectados en noviembre y diciembre del 2003 por los autores
Cofre de Perote, Ver. ⁽²⁾	19° 30' 50"N 97° 09' 41"O	3,658	
198-99 (Temascaltepec) ⁽³⁾	19° 05' 11" N 100° 02' 00" O	2,470	Protectora de Bosques (PROBOSQUE) de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México.
199-99 (Desierto de los Leones) ⁽⁴⁾	19° 18' 48" N 99° 18' 36" O	2,979	
201-01 (Zinacantepec) ⁽⁵⁾	19° 14' 10" N 99° 50' 15" O	3,500	
202-00 (Jocotitlán) ⁽⁶⁾	19° 44' 38" N 99° 46' 26" O	2,880	
Coatepec de las Harinas, Edo. de Méx. ⁽⁷⁾	19° 02' 61" N 99° 49' 81" O	3,025	Distribuidora de Semillas Forestales (DISEFO).
Amecameca, Edo. de Méx. ⁽⁸⁾	19° 05' 19" N 98° 40' 40" O	3,289	
Volcán Pelado, D.F. ⁽⁹⁾	19° 02' 28" N 99° 15' 02" O	3,213	Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
Iztaccíhuatl-Popocatepetl, Edo. de Méx. ⁽¹⁰⁾	19° 03' 32" N 98° 38' 06" O	3,958	
Zoquiapan, Edo. de Méx. ⁽¹¹⁾	19° 17' 10" N 98° 41' 03" O	3,350	
Ajusco, D.F. ⁽¹²⁾	19° 09' 45" N 99° 16' 02" O	3,000	

PROBOSQUE*: Protectora de Bosques del Estado de México.

Los conos colectados en campo fueron secados al sol y se sometieron al procedimiento tradicional de beneficio que utiliza la CORENA (extracción, eliminación de las alas y separación de vanas por soplado) y en su conjunto, el total de los lotes de semilla se desinfectaron con cloro al 0.6%, se embebieron durante 24 h y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico con fungicida Thiram®, por un período de ocho horas antes de sembrarlas en almácigos el 29 de junio del 2004. La germinación se presentó entre la tercera y cuarta semanas posteriores a la siembra (del 30 de julio al 3 de agosto del 2004) y las plántulas se trasplantaron a charolas de plástico rígido con 40 cavidades de 93 cm³ cada una, llenadas con peat moss, agrolita y vermiculita en una proporción de 50:20:30 respectivamente. El sustrato contenía un fertilizante

Seed germination finished between the 3rd and 4th week after the seeding (30 of July to the 3 of August, 2004) and seedlings were transplanted to rigid plastic trays of 40 cavities of 93 cm³ each one, filled with a growing media of peat moss, perlite and vermiculite (50:20:30), which includes a fertilizer (Multicote) that was added following the nursery regular procedure (3.5 kg per m³ of substrate). Fertilizer was applied later, every eight months when plants were watered, as well as a micronutrient fertilizer (Micromax®), which was added occasionally. Trays were watered as it is usually done in the nursery and kept in the greenhouse during the experiment; they were moved following a regular sequence every two.

(Multicote®) a razón de 3.5 kg m⁻³ y se siguió aplicando mediante el agua de riego cada ocho meses. En forma adicional se aplicaron los micronutrientes básicos por medio de un fertilizante (Micromax®) diluido en el agua de riego. Las charolas se mantuvieron en un invernadero tipo túnel con cubierta de plástico durante el período de evaluación y las plántulas se regaron por aspersión de acuerdo a la rutina periódica del vivero de San Luis Tlaxiálfemalco.

Diseño experimental

Las procedencias en cada charola se dispusieron en forma aleatoria en una platabanda elevada y el arreglo se repitió siete veces y se acomodaron los bloques de acuerdo al espacio disponible en el invernadero, por lo que el diseño experimental correspondió a un arreglo de bloques al azar con siete repeticiones, en el que la distancia a la puerta de acceso al invernadero fue el gradiente sobre el cual se dispusieron las repeticiones.

La unidad experimental la conformaron las ocho plántulas centrales de cada charola, en ellas se midieron: el diámetro basal con un vernier digital marca Mitutoyo, modelo CD-6" BS, desde la base hasta la yema apical. Los datos se registraron a los 93, 196, 282 y 395 días posteriores a la germinación, que correspondieron al 29 de septiembre del 2004, 10 de enero del 2005, 6 de abril del 2005 y 28 de julio del 2005.

Los datos utilizados para el análisis fueron los promedios del crecimiento obtenido en cada charola y se determinaron las tasas de crecimiento con base en las siguientes consideraciones:

a) En virtud de que el estudio se relaciona con un crecimiento inicial, se consideró que la respuesta registrada describe una exponencial con respecto al tiempo.

b) Una función de este tipo se convierte en una recta cuando la variable dependiente se transforma por medio de su valor logaritmo, los cuales se aplican de acuerdo con la siguiente fórmula (Hunt, 1990):

$$Tasa\ de\ crecimiento = \frac{C_i - C_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

Donde:

- C_i = Crecimiento total en longitud o grosor alcanzados en la *i*-ésima medición
- t_i = Tiempo transcurrido hasta la *i*-ésima medición
- i* = Número de medición

c) Dado que la ecuación 1 corresponde a la pendiente entre dos puntos y esta es una recta, entonces es posible calcular el valor de la tasa de crecimiento como la pendiente de una función lineal.

Experimental Design

Trays with seedlings from each provenance were located in a randomized block design with 7 replications at the greenhouse. Seedlings of each provenance located in the central row of each tray were measured (8 cavities per tray *i.e.* 56 plants in total per provenance). Blocks were moved in a customary sequence to provide a regular distribution of light and temperature, according to the gradient observed in the greenhouse.

Measurements and evaluations were conducted in the nursery and basal diameter was determined with a digital caliper (Mitutoyo, CD-6" BS model), and the height with an ordinary ruler. Data were collected at the 93, 196, 282 and 395 days after germination (September 29th, 2004, January 10th, 2005, April 6th, 2005 and July 28th, 2005). The mean values of these variables from every provenance/tray were used for analysis, and also were used to determine the rate growth; however, because the experiment gap is limited to the initial growth of seedlings, it was considered that an exponential curve would better describe this condition, and according to Hunt (1990), a function of this type is converted to a straight line when the dependent variable is log transformed:

$$Tasa\ de\ crecimiento = \frac{C_i - C_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$$

Where:

- C_i = Total growth in longitude or thickness reached at the *i* measurement
- t_i = Elapsed time to the *i* measurement
- i* = Measurement number

Equation 1 corresponds to a slope between two points which is a constant; thus, the calculation of growth rate as the slope of the linear function is possible. This procedure allows a precise calculation considering the four measurements practiced and adjusted by means of the least square method. In such a way, the slope corresponds to the growth rate expressed by equation 2 (Freund *et al.*, 2000):

$$Tasa\ de\ crecimiento\ (b) = \frac{n [\sum (x_i y_i) - (\sum x_i) (\sum y_i)]}{n (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

Where:

- n* = Number of measurements
- ∑ = Summation
- x_i = Elapsed time since germination
- y_i = Log value

Statistical analysis

In addition to growth rate calculations, the final height, diameter and growth rates values were used to compare them among

d) Lo anterior permite un cálculo más exacto de la tasa de crecimiento con base en las cuatro mediciones realizadas mediante un ajuste de mínimos cuadrados. Así, la pendiente de la ecuación corresponde a la tasa de crecimiento que se expresa de acuerdo a la ecuación (2), (Freund *et al.*, 2000):

$$\text{Tasa de crecimiento (b)} = \frac{n [\sum (x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)]}{n (\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

Donde:

n = Número de mediciones

\sum = Sumatoria

x_i = Tiempo transcurrido desde la germinación

y_i = Crecimiento transformado a logaritmo (base 10).

Análisis Estadístico

Con los datos de la altura final, diámetro final y tasa de crecimiento se calcularon los estadísticos descriptivos y se aplicaron las pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) al conjunto de datos de cada parámetro, para lo cual se utilizó el programa Minitab 12.21 (Minitab Inc., 1998). No obstante lo anterior, en la tasa de crecimiento en altura se obtuvieron el algunas ocasiones desviaciones importantes de los supuestos mencionados del análisis de varianza, por lo que se aplicó la transformación a rangos propuesta por Conover e Iman (1981).

Los promedios finales de diámetro basal y altura, así como los valores de tasa de crecimiento registrados en cada procedencia se compararon por medio de un análisis de varianza (ANOVA) con el siguiente modelo estadístico (Infante y Zárate, 1984):

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta en la j -ésima unidad experimental con el tratamiento i -ésimo

μ = Media general

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

e_{ij} = Error en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento

$j = 1, \dots, b$

$i = 1, \dots, t$

Con base en los resultados del ANOVA se procedió a realizar las pruebas pertinentes de comparación de medias (Tukey), para identificar las diferencias en la respuesta del crecimiento entre las procedencias. En relación a la tasa de crecimiento en altura, se presentan las agrupaciones de medias obtenidas con y sin transformación.

provenances. Normality test (Kolmogorov-Smirnov) and variance homogeneity test (Levene) were practiced to each variable data using Minitab 12.21 (1998). Because height growth rate showed important deviations from the former assumptions, a transformation using data in ranks was used according to Conover and Iman (1981).

Infante and Zárate (1984) statistical model was used to compare provenances:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + e_{ij}$$

Where:

Y_{ij} = Measurement of the j -esim experimental unit in the i -esim treatment

μ = General mean

T_i = Response of the i -treatment

β_j = Response of the j -block

e_{ij} = Standard error in the j -replication of the i -treatment

$j = 1, \dots, b$

$i = 1, \dots, t$

A multiple comparison test of means (Tukey) was performed according to ANOVA results and the significance in growth variables among provenances was determined; however, in the height growth rate the mean groups were compared with or without the rank transformation.

RESULTS

Validity of assumptions and provenance differences

According to the Kolmogorov-Smirnov test, the data of final height, final basal diameter and diameter growth rate showed a normal distribution. Besides, the Levene test showed a homogeneity in the variance of these variables and the ANOVA test showed significant differences among provenances in these variables (Table 2). However, a different response was registered in the height growth rate, because small but systematic and significant deviations from the normal distribution were found, and it was necessary to use the data in ranks to correct this situation (Figure 2).

Height

Seedlings from Cofre de Perote showed the lowest mean value in this variable when first measured, however at the end of the study this provenance showed the higher value. In contrast, the lowest final values in height were recorded in Temascaltepec and Zacatepec provenances (Table 3).

The multiple comparison test of means for height (Tukey) showed that Cofre de Perote with the highest height mean

RESULTADOS

Cumplimiento de supuestos y diferencias entre procedencias

De acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov los datos de altura final, diámetro basal final y tasa de crecimiento en diámetro presentaron una distribución normal. Asimismo, la prueba de Levene indicó una homogeneidad en las varianzas de estas variables y el análisis de varianza permitió detectar diferencias significativas entre procedencias (Cuadro 2). No obstante lo anterior, en la tasa de crecimiento en altura se observaron desviaciones pequeñas pero sistemáticas y significativas respecto a la distribución normal (Figura 2), por lo que fue necesario transformar los datos por rangos para corregir esta situación.

Cuadro 2. Niveles de significancia para el cumplimiento de supuestos del análisis de varianza y valores de la prueba de F en las variables bajo estudio en 12 procedencias de *Pinus hartwegii* en condiciones de vivero.

Table 2. Significance levels of test and F values of the analysis of variance for the growth variables in seedlings of 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Variable	Kolmogorov-Smirnov	Levene	F de las procedencias
Altura final	>0.150 ^{ns}	0.584 ^{ns}	0.000*
Diámetro final	>0.150 ^{ns}	0.300 ^{ns}	0.000*
Tasa de crecimiento en altura	<0.01*	0.318 ^{ns}	0.000*
Tasa de crecimiento en altura transformada a rangos	>0.150 ^{ns}	0.146 ^{ns}	0.000*
Tasa de crecimiento en diámetro	>0.150 ^{ns}	0.394 ^{ns}	0.000*

* = Significativo; ns= no significativo para un $\alpha=0.05$.

* = Significant; ns= non significant for $\alpha=0.05$.

Altura

Se registraron los menores valores de altura en la primera medición en las plántulas de Cofre de Perote, sin embargo, al final de la evaluación presentaron el mayor tamaño; mientras que las procedencias con las menores medidas al final en esta variable fueron Temascaltepec y Zinacantepec (Cuadro 3).

Con base en el resultado del análisis de varianza (Cuadro 2) se realizó la prueba de comparación de medias (Tukey) y sus resultados permitieron determinar que Cofre de Perote, la cual presentó el promedio más alto, fue significativamente diferente al resto de las procedencias. En el caso de la población con el menor valor (Temascaltepec) se determinó que no fue estadísticamente diferente respecto a otras siete procedencias, provenientes todas ellas del Estado de México y Distrito Federal (Cuadro 4). En el caso de la población del Nevado de Colima, si bien difiere de Cofre de Perote, conforma a su vez un grupo de seis procedencias con valores estadísticamente similares (Cuadro 4).

value was significantly different in regard to the remaining provenances; however, plants from Temascaltepec which showed the lower mean value were not significantly different from seven provenances, all of them from Estado de México and Distrito Federal (Table 4).

Height increments between the final and initial measurements are presented in Figure 3. Cofre de Perote showed the higher final mean value and the fastest growth, especially during the last measurements. In contrast, the remaining 11 provenances showed a uniform increment but different final heights (Figure 3). These data were used to generate the growth rates for each provenance and significant differences among them were found (Table 2).

Results of the multiple comparison test of means (Tukey) for the height growth rate among provenances (transformed or not) are shown in Table 5. In both cases Cofre de Perote presented the higher value and was significantly different to the rest, however when the test was practiced to mean ranked values, this provenance was not different to other three provenances (Table 6) The lowest rates in both types of data were found in Zoquiapan, Amecameca and Zinacantepec, but not statistically different from other five populations, which all together were from Estado de México and Distrito Federal. Nevertheless, these results did not support a specific geographical variation pattern mainly because Nevado de Colima was part of the aforementioned groups (Table 5).

Diameter

Table 6 shows the mean results from every sampling for each provenance of *Pinus hartwegii*. Values at the first measurement were very similar among populations, however, some differences were found at the final measurement of the experiment. The highest values in the last sampling were

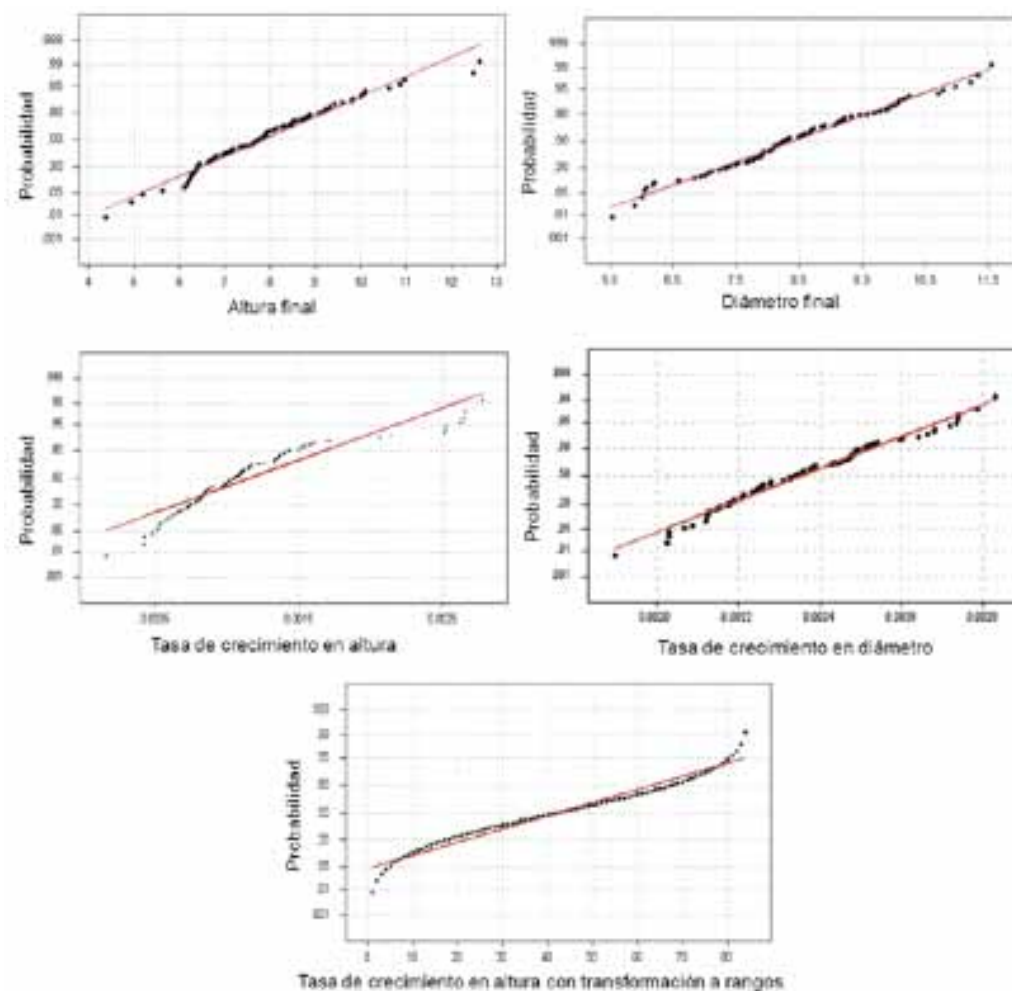


Figura 2. Comparación de los datos registrados en diámetro, altura y tasa de crecimiento en 12 procedencias de *Pinus hartwegii* en condiciones de vivero, con la distribución normal en las variables bajo estudio.

Figure 2. Diameter, height and growth rate values in 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery.

Cuadro 3. Altura promedio en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero en cada fecha de medición.

Table 3. Mean height at different sampling dates in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Procedencia	N	Altura promedio (cm)			
		Fecha de medición			
		29/09/2004	10/01/2005	06/04/2005	28/07/2005
1 Nevado de Colima	56	3.51±0.11	5.07±0.14	7.01±0.23	8.98±0.29
2 Cofre de Perote	56	1.93±0.09	3.36±0.02	7.41±0.26	10.99±0.35
3 Temascaltepec	56	3.13±0.14	3.67±0.11	4.08±0.19	6.13±0.45
4 Desierto de los Leones	56	3.50±0.91	4.08±0.12	4.47±0.19	7.06±0.39
5 Zinacantepec	56	3.57±0.15	4.55±0.17	4.59±0.23	6.29±0.41
6 Jocotitlán	56	3.26±0.13	4.19±0.15	5.55±0.22	8.71±0.30
7 Coatepec	56	3.00±0.14	4.58±0.15	5.90±0.20	7.51±0.35
8 Amecameca	56	4.32±0.16	4.35±0.16	5.08±0.24	7.17±0.41
9 Volcán Pelado	56	3.92±0.13	4.74±0.18	5.03±0.20	7.97±0.36
10 Izta-Popo	56	3.64±0.19	4.11±0.11	4.78±0.22	6.97±0.40
11 Zoquiapan	56	4.54±0.11	5.79±0.14	6.36±0.23	7.90±0.36
12 Ajusco	56	4.15±0.14	4.77±0.16	7.13±0.52	8.32±0.39

Cuadro 4. Resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey) a los valores de altura final en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero.

Table 4. Final height mean values and results of the multiple comparison test of means (Tukey) in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Procedencia	Altura promedio final (cm)	Agrupación *
Cofre de Perote	10.986	A
Nevado de Colima	8.975	B
Jocotitlán	8.711	Bc
Ajusco	8.323	Bc
Volcán Pelado	7.971	Bcd
Zoquiapan	7.899	Bcde
Coatepec	7.513	Bcde
Amecameca	7.168	Cde
Dto. de los Leones	7.061	Cde
Izta-Popo	6.973	Cde
Zinacantepec	6.295	De
Temascaltepec	6.134	E
Media general	7.83	

* = Las procedencias con diferente letra difieren significativamente entre sí.

* = Provenances with different letter significantly differ among them.

En relación con los incrementos en crecimiento con base en las diferencias entre la altura final y la altura inicial, el mayor valor se registró en la procedencia Cofre de Perote que incluso presentó un el incremento promedio más notorio, mientras que las otras localidades se observaron aumentos más uniformes en el tiempo aunque valores finales diferentes (Figura 3).

registered in Zinacantepec, Zoquiapan and Desierto de los Leones, and, in contrast, the lowest value came from Cofre de Perote (Table 6).

Mean values among provenances were statistically different (Table 2) and the multiple comparison test of means (Tukey)

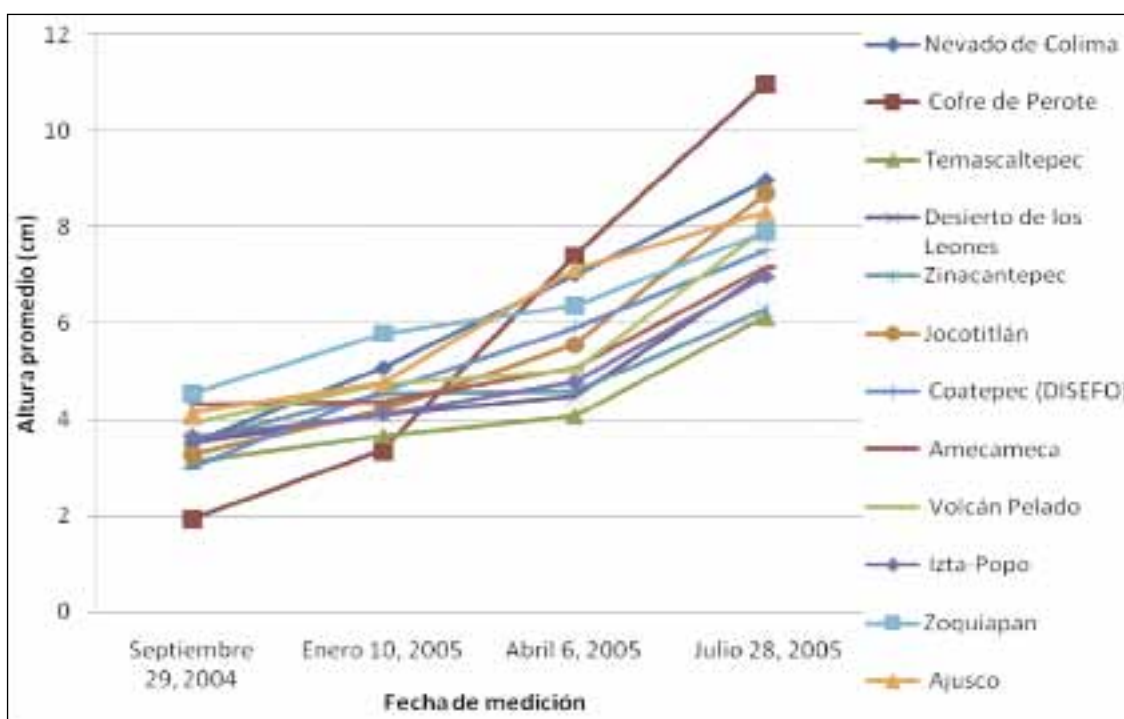


Figura 3. Altura promedio en cada fecha de medición en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero.

Figure 3. Mean height in every sampling date in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias en relación con la tasa de crecimiento en altura con datos transformados en rangos o sin transformación se presentan en el Cuadro 5. En ambos casos la procedencia de Cofre de Perote presentó el mayor valor de crecimiento y fue significativamente diferente con respecto al resto de las procedencias; situación que se repitió cuando fueron comparados los datos transformados en rangos, aunque en este caso; no fue diferente estadísticamente con respecto a otras tres poblaciones. Las tasas más bajas se presentaron en ambos tipos de datos en las poblaciones de Zoquiapan, Amecameca y Zinacantepec, las cuales no fueron significativamente diferentes entre ellas ni de otras cinco localidades, por lo que se conjuntaron en un solo grupo, todas ellas provenientes del Estado de México y Distrito Federal. No obstante lo anterior, los resultados anteriores no permitieron identificar una variación entre procedencias que se ajustara a un patrón geográfico específico, en parte debido a que la población del Nevado de Colima se encontraba dentro de ese gran grupo antes mencionado (Cuadro 5).

showed that Zinacantepec gathered the highest diameter mean values, significantly different to the other 10 provenances except for Zoquiapan (Table 7). The last population was part of a group formed by six species, all of them from the Estado de Mexico State and Distrito Federal region. A different group was formed by populations from the same region but Nevado de Colima was also part of it. The lowest mean value was recorded in Cofre de Perote and was also significantly different (Table 7).

Diameter increments between the final and initial measurements are shown in Figure 4 and were used to generate the growth rates of this variable for each provenance. Seedlings from every population had a similar response and the highest increments were observed in the last trimester (Figure 4). The analysis of variance in this variable revealed significant differences among provenances (Table 2) and the results of the multiple comparison test of means (Tukey) allow to determine that provenances with the highest and lowest mean values (Zinacantepec and Cofre de Perote, respectively) were part of big groups conformed by six populations each

Cuadro 5. Resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey) para la tasa de crecimiento en altura con y sin transformación de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero.

Table 5. Results of the multiple comparison test of means (Tukey) to transformed or untransformed values of height growth rate in seedlings of 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Procedencia	Tasa de crecimiento en altura (cm día ⁻¹)	Agrupación	Rango promedio **	Agrupación *
Cofre de Perote	0.00261003	a	81	a
Jocotitlán	0.00143087	b	64.57143	ab
Nevado de Colima	0.001366576	b	61.85714	abc
Coatepec	0.00133011	b	56.28571	abc
Ajusco	0.00106973	bc	42.85714	bcd
Desierto de los Leones	0.00097737	bc	37.28571	bcd
Izta-Popo	0.00097002	bc	31.71429	cd
Volcán Pelado	0.00096543	bc	36.57143	bcd
Temascaltepec	0.00092229	bc	34	cd
Zoquiapan	0.00077232	c	20.85714	d
Amecameca	0.00074860	c	19.71429	d
Zinacantepec	0.00074858	c	23.28571	d
Media general	0.001159326			

* = Las procedencias con diferente letra difieren significativamente entre sí; ** = Transformación de Conover e Iman (1981).

* = Provenances with different letter significantly differ among them; ** = Conover and Iman (1981) transformation.

Con respecto a las agrupaciones de medias calculadas con la transformación, la principal diferencia es que el máximo valor correspondió a la procedencia Cofre de Perote no difiere significativamente de Jocotitlán, Nevado de Colima y Coatepec.

one. Nevertheless, these results did not support a specific geographical variation pattern mainly because Nevado de Colima and Cofre de Perote belonged to the same group and provenances from the Estado de México and Distrito Federal were also present in both groups (Table 8).

Diámetro

En el Cuadro 6 se observan los resultados de diámetro basal en los diferentes muestreos realizados en las poblaciones bajo estudio. En el inicial los datos fueron muy similares entre las procedencias, sin embargo conforme el experimento continuó avanzando, en la última medición se registró una marcada variación entre las mismas. Los promedios más altos se encontraron en Zinacantepec, Zoquiapan y Desierto de los Leones y el menor valor se obtuvo en Cofre de Perote (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diámetro basal promedio en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero en las diferentes fechas de medición.

Table 6. Mean basal diameter at different sampling dates in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Procedencia	N	Diámetro promedio (mm)			
		Fecha de medición			
		29/09/2004	10/01/2005	06/04/2005	28/07/2005
1 Nev. de Colima	56	1.53±0.02	3.38±0.07	4.68±0.11	7.31±0.14
2 Cofre de Perote	56	1.34±0.02	3.14±0.07	4.42±0.10	5.99±0.10
3 Temascaltepec	56	1.61±0.03	4.36±0.08	5.93±0.14	9.17±0.24
4 Dto. de los Leones	56	1.65±0.03	3.72±0.12	6.14±0.17	9.19±0.27
5 Zinacantepec	56	1.68±0.03	4.41±0.09	6.57±0.17	10.58±0.28
6 Jocotitlán	56	1.52±0.02	3.70±0.09	4.97±0.12	7.29±0.24
7 Coatepec	56	1.40±0.03	3.45±0.06	5.51±0.13	8.34±0.20
8 Amecameca	56	1.74±0.03	3.69±0.07	5.26±0.13	8.86±0.26
9 Volcán Pelado	56	1.67±0.02	4.38±0.09	6.92±0.17	7.97±0.18
10 Izta-Popo	56	1.60±0.03	4.27±0.07	6.17±0.19	8.34±0.24
11 Zoquiapan	56	1.60±0.04	4.74±0.10	6.85±0.21	9.55±0.25
12 Ajusco	56	1.45±0.02	4.15±0.07	6.19±0.17	8.24±0.29

Al ser comparados los valores promedio mediante una prueba de análisis de varianza se determinó que se presentaban diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 2); y mediante una prueba de medias se agruparon las mismas (Cuadro 7). Las procedencias de Zinacantepec y Zoquiapan presentaron los mayores valores, sin embargo esta última no difiere de un gran grupo conformado por seis procedencias y un grupo adicional en el que se encuentra la procedencia de Nevado de Colima, que se agrupó con poblaciones de la zona central del Eje Neovolcánico, localizadas en el Estado de México y Distrito Federal. Cabe destacar que la población de Cofre de Perote se diferencia claramente de las demás pues presentó el menor valor promedio que fue estadísticamente significativo del resto de (Cuadro 7).

DISCUSSION

Significant differences were found among provenances in every response variable determined in this experiment, which could show that the response of every provenance is directed by the local conditions in which they developed. Nevertheless this variation could not be associated to any pattern of geographic origin (latitudinal, longitudinal) or even more related to different altitudinal levels. An example of this situation was found in the height growth rates because seedlings from Cofre

de Perote showed the highest rate and height mean values but the rate in diameter was lower and the final mean value was also low. These results were significantly different; however this provenance was regularly part of a group which congregates populations from different areas of Eje Neovolcánico. A similar situation was registered in Nevado de Colima, because this provenance was part of a group conformed by populations non-geographically close. In such way, is not possible to suggest that the provenances of *P. hartwegii* studied in this experiment showed a geographic variation in their growth and it could be related to the local conditions where they grow.

Zobel and Talbert (1984) referred that forest species with huge distribution areas commonly show an important gradient of genetically controlled variation, but also mentioned that intraspecific variation is related to natural selection, which is influenced by geographic and environmental gradients along the distribution area, as well as the isolation produced by population discontinuity.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey) para el diámetro final en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero.Table 7. Final diameter mean values and results of the multiple comparison test of means (Tukey) in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Procedencia	Diámetro promedio final (mm)	Agrupación *
Zinacantepec	10.583	a
Zoquiapan	9.554	ab
Desierto de los Leones	9.185	bc
Temascaltepec	9.174	bc
Amecameca	8.855	bc
Izta-Popo	8.342	bcd
Coatepec (DISEFO)	8.338	bcd
Ajusco	8.239	cd
Volcán Pelado	7.971	cd
Nevado de Colima	7.306	d
Jocotitlán	7.293	d
Cofre de Perote	5.987	e
Media general	8.40	

* = Las procedencias con diferente letra difieren significativamente entre sí.

* = Provenances with different letter significantly differ among them.

En la Figura 4 se observan los valores de diámetro promedio referidos, los cuales fueron utilizados para generar las tasas de crecimiento de cada procedencia. En términos generales las plántulas de las diferentes poblaciones mostraron una respuesta similar y los mayores incrementos se registraron en el último trimestre (Figura 4). El análisis de varianza efectuado a los datos de tasa de crecimiento en diámetro permitió determinar diferencias significativas entre procedencias (Cuadro 2) y los resultados de la prueba de comparación de medias se presentan en el Cuadro 8.

La mayor tasa de crecimiento se estimó para las plántulas de Zinacantepec, aunque no fue significativamente diferente de otras cinco localidades (Cuadro 8); mientras que la menor se presentó en Cofre de Perote, pero que al igual que en el caso anterior, no difirió significativamente de cinco procedencias ubicadas varias de ellas en el centro del país. Al igual que en el caso de la altura, la agrupación de procedencias no permitió distinguir un patrón geográfico entre éstas, pues incluso la de Cofre de Perote formó parte de un grupo de cinco poblaciones en el cual se incluye la del Nevado de Colima, que se ubica en el otro extremo del

The differences found in this research among provenances of *P. hartwegii* were not related to a geographic pattern (latitudinal or longitudinal), maybe because all of them came from the great mountainous Eje Neovolcánico range, which extends in a transverse way along the central part of the Mexican Republic (West to East), not enough to influence the climate and environmental conditions of the location, but also because *P. hartwegii* is usually located in high mountain places. It is probable that local conditions (for example altitude level and climate conditions) had influenced the response of the populations and made a selection on the individuals. In this way, it would be necessary to assess provenances from the Northern and Southern areas of natural distribution, and compare their response with central populations.

Perry and Hafley (1981) and Salazar (1986) referred that size and other morphological characteristics of seeds (weight, test thickness, etc.) influenced the initial growth rate and seedling height. Thus, the variation among provenances found in the aforementioned growth variables could be related to seed characteristics, considering the short period of evaluation after germination that was followed in this experiment.

Notwithstanding the wide distribution in the national territory of *Pinus hartwegii*, there are few studies among provenances about their physiological and growth characteristics. The limited information in this species makes difficult to contrast the results found in this experiment. Nevertheless, in other coniferous species have been reported a reduced variation among provenances, such as the case of *Abies religiosa* (HBK.)

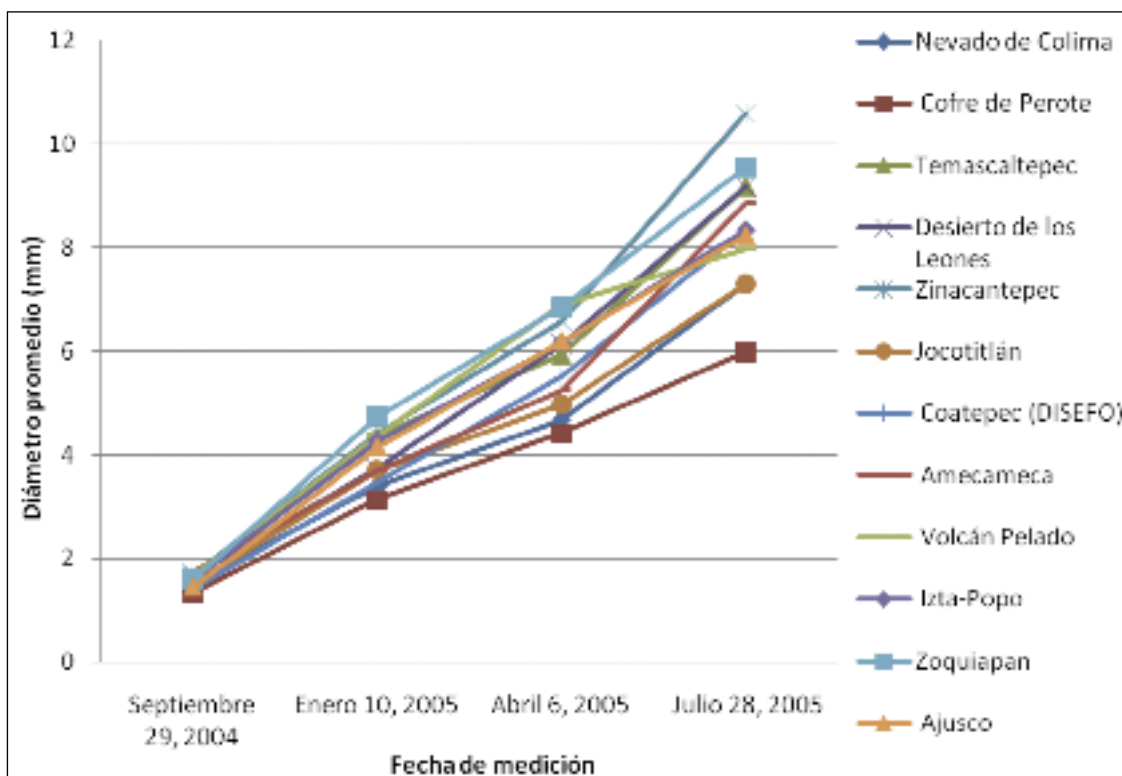


Figura 4. Diámetro basal promedio en plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* en condiciones de vivero.

Figure 4. Basal diameter mean in every sampling date in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Cuadro 8. Resultados de la prueba de comparación de medias (Tukey) a las de tasa de crecimiento en diámetro de plántulas de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* bajo condiciones de vivero.

Table 8. Growth rate values in diameter and results of the multiple comparison test of means (Tukey) in seedlings from 12 provenances of *Pinus hartwegii* in nursery conditions.

Eje Neovolcánico (Cuadro 8).

Procedencia	Tasa de crecimiento en diámetro (mm día ⁻¹)	Agrupación *
Zinacantepec	0.002583	A
Coatepec (DISEFO)	0.002536	Ab
Zoquiapan	0.002496	Ab
Desierto de los Leones	0.002462	Abc
Ajusco	0.002436	Abcd
Temascaltepec	0.002411	Abcde
Izta-Popo	0.002319	Bcdef
Amecameca	0.002290	Bcdef
Volcán Pelado	0.002230	Cdef
Nevado de Colima	0.002196	Def
Jocotitlán	0.002176	Ef
Cofre de Perote	0.002115	F
Media general	0.00235416	

* = Las procedencias con diferente letra difieren significativamente entre sí.

* = Provenances with different letter significantly differ among them.

DISCUSIÓN

Los resultados encontrados en el presente trabajo mostraron diferencias significativas entre las procedencias en todas las variables de respuesta que fueron utilizadas en este experimento, lo que evidencia una diferente respuesta de las poblaciones, sujeta probablemente a las condiciones ambientales locales en las que se desarrollan, pues si bien se encontraron dichas diferencias, la variación entre procedencias no puede asociarse a un patrón geográfico (latitudinal, longitudinal) e incluso de tipo altitudinal. Un ejemplo de la situación anterior se presentó en la tasa de crecimiento en altura entre las procedencias, pues las plántulas de Cofre de Perote mostraron los valores más altos en dicha tasa e incluso en altura, pero la más baja en diámetro y el valor promedio de este fue de los más bajos. No obstante lo anterior, los valores no difirieron de otras cinco procedencias pues con ellas se conformó una agrupación de variado origen geográfico dentro del Eje Neovolcánico. Un caso similar se registró con la población del Nevado de Colima, pues formó parte de un grupo en el que se encuentran asimismo localidades que no son las más cercanas geográficamente. Por tanto, es imposible afirmar que las diferencias en el crecimiento de las doce procedencias de *Pinus hartwegii*, corresponden con patrones geográficos, latitudinales o longitudinales.

Zobel y Talbert (1984) refieren que las especies forestales con grandes áreas de distribución, por lo general, muestran un importante gradiente de variación controlado genéticamente. También, señalan que la variabilidad intraespecífica se debe a la selección natural, misma que es influenciada por los gradientes geográficos y ambientales que se presentan a lo largo del área de distribución, así como al aislamiento por discontinuidades en las poblaciones.

En este trabajo, las diferencias entre procedencias de *Pinus hartwegii* no correspondieron a un patrón geográfico longitudinal, posiblemente porque todas provienen del Eje Neovolcánico, el cual se extiende transversalmente por el país, lo que hace que las condiciones de clima no cambien de manera radical en un gradiente este-oeste; es factible que las diferencias respondan a condiciones ambientales que han ejercido un factor de selección a nivel local en las poblaciones. De tal forma, que la altitud sobre el nivel del mar en la que se encuentran las poblaciones y su consecuente relación con el clima local, es probablemente el elemento ambiental que más influye en la respuesta de las mismas. Al respecto, sería conveniente evaluar la variación entre poblaciones ubicadas hacia el norte y sur del país, en forma comparativa con las del centro.

Perry y Hafley (1981) y Salazar (1986) refieren que la dimensión y otras características de las semillas (peso, grosor de la testa, etc.) influyen en la tasa de crecimiento

Schltdl. *et Cham.* (Aguirre *et al.*, 2000), which is commonly located in the same regions where *P. hartwegii* grows but in lower altitudinal levels. These authors mentioned that conifers commonly showed a great intra-population diversity but a lower inter-population one, mainly due to the extensive genetic flow and the longevity of the individuals. A similar response was pointed out by Juárez *et al.* (2006) in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, because these authors did not find significant differences in the height of nine-months' old seedlings from various populations.


Viveros *et al.* (2005) did not find any variation in populations of *Pinus pseudostrabus* Lindl. in regard to altitudinal gradient, as well as a geographic pattern. However, these authors mentioned that this species could have a phenotypic plasticity, *i.e.* the ability of the genotype to produce more than one morphological, physiological or reactive alternative form, in response to the environmental conditions (West-Eberhard, 1989).

Via *et al.* (1995) mentioned that plant species with a wide distribution had more phenotypic alternatives because it could be almost impossible to adapt to every condition where populations develop. In this way, the change of the population to the local conditions is the solution and the phenotypic plasticity favored the adaptation of the species to heterogeneous environments where they grow.

Results from this experiment did not support any suggestion of phenotypic plasticity in the populations of *P. hartwegii*, however such mechanism could be the option that this species follow to establish in a vast mountainous region in the central part of Mexico, which has extreme and variable climatic conditions.

CONCLUSIONS

Significant differences in growth characteristics were determined among seedlings of *P. hartwegii* provenances from the central region of Mexico; however, this variation was not associated to any geographic (latitudinal or longitudinal) pattern.

Cofre de Perote provenance showed the highest mean final value in height and the lowest mean value in diameter, as well as the corresponding growth rates in such variables, which separate this population from the other provenances that were studied in this initial growth pattern. 

ACKNOWLEDGEMENTS

This experiment was part of the research project entitled "Introduction of provenances for the restoration of the declining forest at the Distrito Federal: Stage 1.- *Pinus hartwegii* and *Abies religiosa*", which was accomplished with the economic support provided by Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT. Help and collaboration of Ing. Salvador Castro Zavala, responsible of San Luis Tlaxialtemalco (CORENA) Nursery was crucial for the production and maintenance of seedlings, and thus, we are very grateful to him as well as to

inicial y la altura de las plántulas. Por lo tanto, la variación en el tamaño de las plántulas pudiera relacionarse con las características de la semilla, ya que el periodo de evaluación está dentro de su lapso de influencia.

A pesar de la amplia distribución de *P. hartwegii* en el territorio nacional, su variabilidad en aspectos fisiológicos y de crecimiento ha sido poco estudiada, por lo que es difícil contrastar los resultados de este experimento. No obstante, para otras especies se ha citado una reducida variación entre poblaciones, como es el caso de *Abies religiosa* (HBK.) Schtdl. et Cham. (Aguirre et al., 2000), que comparte zonas geográficas similares a las áreas de distribución de *P. hartwegii*, aunque a menores cotas altitudinales. Aguirre et al., 2000 refieren que en coníferas es común observar una gran diversidad dentro de las poblaciones, pero una baja variación entre ellas, debido en parte a un extensivo flujo génico y a la longevidad de los individuos. Una respuesta similar señalan Juárez et al. (2006) para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, quienes no obtuvieron diferencias entre poblaciones en el tamaño de plántulas de nueve meses de edad.

Viveros et al. (2005) evaluaron la variación entre poblaciones de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en respuesta a un gradiente altitudinal y tampoco registraron un patrón que respondiera a dicha variable. Sin embargo, consignan la posibilidad de que el taxón presente una plasticidad fenotípica, habilidad de un genotipo de producir más de una forma alternativa de tipo morfológico, fisiológico o de conducta en respuesta a las condiciones ambientales (West-Eberhard, 1989).

Via et al. (1995) indican que en especies de amplia distribución es difícil que tengan un desempeño equiparable con un solo fenotipo en todos los ambientes en los que se distribuye y por ello, un cambio en el mismo puede ser la solución de acuerdo a las condiciones. La plasticidad fenotípica favorece la adaptación de las especies en ambientes heterogéneos dentro de las regiones o zonas donde se desarrollan.


Con base en los resultados obtenidos es difícil determinar si las poblaciones de *P. hartwegii* evaluadas presentan una plasticidad fenotípica; sin embargo, dicho mecanismo es una opción que no puede descartarse para que esta especie se establezca exitosamente en las altas montañas del centro del país, que se caracterizan por tener condiciones climáticas extremas y variables.

CONCLUSIONES

Se determinaron diferencias significativas en las variables de crecimiento bajo estudio entre procedencias de *Pinus hartwegii*, sin embargo la agrupación entre éstas no permite definir una variación acorde a un patrón geográfico de tipo longitudinal y latitudinal.

the Distribuidora de Semillas Forestales Company. Likewise, the field activities of this experiment were achieved thanks to the enthusiastic participation of the students enrolled in the series of courses related to this project at the Department of Biology, in the Science School of the National Autonomous University of Mexico.

End of the English version

La procedencia de Cofre de Perote mostró los valores más extremos en las medidas finales de diámetro (más bajo) y altura (más alto), así como de las tasa de crecimiento respectivas, lo que la separa de las procedencias restantes en cuanto a sus características de crecimiento inicial. 

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte del proyecto intitulado "Introducción de procedencias para la restauración de los bosques en declinación del Distrito Federal: Etapa 1: *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*", el cual fue posible realizarlo gracias al apoyo económico del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT. El apoyo y desinteresada colaboración del Ing. Salvador Castro Zavala, responsable de Vivero San Luis Tlaxiátemalco-CORENA, fue fundamental para la producción y mantenimiento de la planta, de lo cual estamos muy agradecidos, así como a la empresa Distribuidora de Semillas Forestales por la donación de los lotes referidos. De igual manera, la ejecución del trabajo experimental no hubiera sido posible sin la ayuda entusiasta de los alumnos de la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM, quienes colaboraron en el taller relacionado con el proyecto antes mencionado.

REFERENCIAS

- Aguirre P., E., G. R. Furnier and L. E. Eguarte. 2000. Low levels of genetic variation within and high levels of genetic differentiation among populations of species of *Abies* from southern Mexico and Guatemala. *American Journal of Botany* 87 (3): 362-371.
- Ashby, W. C. 1987. Forests. In: Jordan, W. R., M. E. Gilpin and J. D. Aber (Eds.) *Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 89-250.
- Calderón de R., G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Mich., México. 1406 p.
- Canacasco M., M. del P. de la Garza L., F. Nepamuceno M., H. M. Benavides M. y E. Velasco B. 2005. Variación en hojas, conos y semillas de *Pinus hartwegii* de tres procedencias. In: *Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. 26-28 de octubre de 2007. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih. pp. 328-329.
- Clement, J., R. Chambel, D. Barba, J. Voltas y R. Alía. 2008. Evaluación genética de la planta forestal: conceptos y resultados disponibles para rodales de pinos españoles. *Boletín del CIDEU* 6-7: 69-82.
- Conover, W. J. and R. L. Iman. 1981. Rank Transformations as a Bridge Between Parametric and Nonparametric Statistics. *The American Statistician*. 35(3): 133.
- de Bauer de la I., M. de L. y T. Hernández T. 1986. Contaminación: una amenaza para la vegetación en México. Centro de Fitopatología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Edo. de Mex., México. 84 p.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de Mex., México. 623 p.
- Freund, J. E., I. Miller y M. Miller. 2000. *Estadística matemática con aplicaciones*. 6ª Edición. Pearson Education. México. 640 p. http://books.google.com.mx/books?id=1ffwNjZWxsC&printsec=frontcover&source=gb_gsummaryr&cad=0#v=onepage&q&f=false (22 de noviembre de 2010).
- García A., R., M. Regina C., F. del Caño, J. Clement, N. Alba, S. Iglesias y R. Alía. 2007. Red española de ensayos de mejoramiento, conservación y utilización de materiales forestales de reproducción. *Escuela Superior Agraria de Coimbra, Portugal*. 7 p. www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T3-18.pdf. (23 de noviembre de 2008).
- Hunt, R. 1990. *Basic growth analysis*. Unwin Hyman Inc. Boston, MA, USA. 111 p.
- Iglesias A., L. G. y Y. Tivo F. 2006. Caracterización morfométrica de la población de *Pinus hartwegii* Lindl. del Cofre de Perote, Veracruz, México. *Ra Ximhai*. 2 (2):449-468. <http://www.uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-05articulosPDF/08%20pinos.pdf>. (12 de noviembre de 2009).
- Infante G., S. y G. P. Zárate de L. 1984. *Métodos estadísticos*. Un enfoque interdisciplinario. Editorial Trillas. México, D. F. México. 327 p.
- Juárez A., A., J. López U., J. J. Vargas H. y C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga mensiezii* de México. *Agrociencia* 40 (6): 783-792.
- Martínez, M. 1948. *Los pinos mexicanos*. Ed. Botas. 2ª ed. México, D. F., México. 361 p.
- Méndez G., M. de la P., L. Mendizábal H. y J. Alba L. 2001. Variación de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de diferentes poblaciones. *Foresta Veracruzana* 3 (2):19-24.
- Minitab, Inc. 1998. Minitab (Versión 12.21 for Windows). State College. PA. USA. s/p
- Musálem S., M. A. y M. A. Solís P. 2000. *Monografía de Pinus hartwegii*. Libro Técnico No 3. Campo Experimental Valle de México. CIR-Centro, INIFAP. Chapingo, Edo. de Méx. México. 96 p.
- Narave F., H. y K. Taylor. 1997. *Flora de Veracruz: Pinaceae*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver., México. Fascículo 98. pp. 21-24.
- Pérez R., P. M. y T. Eguiluz P. 1985. Variación morfológica de *Pinus hartwegii* del Eje Neovolcánico. In: *Memoria de la III Reunión Nacional Sobre Plantaciones Forestales*. Publicación Especial No. 48. INIF, SARH. México D. F., México. pp. 245-270.
- Pérez S., M., V. M. Cetina A., A. Aldrete, M. E. Fenn y L. L. Landois P. 2006. Química de la precipitación pluvial en dos bosques de la cuenca de la Ciudad de México. *Agrociencia*. 40: 239-248. <http://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2006/mar-abr/art-9.pdf> (21 de abril de 2009).
- Perry, J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.
- Perry, T. O. and W. L. Hafley. 1981. Variation in seedling growth rates: their genetic and physiological bases. In: *Proceedings of the 16th Southern Forest Tree Improvement Conference*. Blacksburg, VA, USA. www.rngr.net/Publications/Sftic/1981/variation-in-seedling-growth-rates-their-genetic-and-physiological-bases/view (21 de diciembre de 2009).
- Rodríguez T., D. A. 2006. Notas sobre el diseño de plantaciones de restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12 (2):111-123. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/629/62912204.pdf>. (8 de mayo de 2009).
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México, D. F. México. 432 p.
- Salazar, R. 1986. Seed and seedling provenance variation under greenhouse conditions of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. *Revista IPEF* 32: 25-32.
- Via, S., R. Gomulkiewicz, G. de Jong, S. M. Scheiner, C. D. Schlichting and P. H. Van Tienderen. 1995. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Tree* 10 (5): 212-217.
- Viveros V., H., C. Sáenz R., J. López U. y J. Vargas H. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plántulas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39: 575-587.
- West-Eberhard, M. J. 1989. Phenotypic plasticity and the origins of diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20: 249-278.
- Zobel, B. J. and J. T. Talbert. 1984. *Applied forest tree improvement*. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY, USA. 505 p.



Abies religiosa, Piedra Canteada, Tlax. (151206) Marisela Zamora-Martínez.