

# ENSAYOS DE ESPECIES CON PINOS PIÑONEROS EN EL NORDESTE DE MÉXICO

E. de los Ríos Carrasco<sup>1</sup>; R. De Hoogh<sup>2</sup>; J. J. Návar Cháidez<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León,  
km 145 Carr. Nacional, Linares, N. L., C. P. 67700. MÉXICO

Correo-e: erioscar@hotmail.com†)

<sup>2</sup>Profesor-Investigador, The International Agricultural Centre (IAC),  
Wageningen, Netherlands.

<sup>3</sup>Profesor-Investigador. CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma s/n Fracc. 20 de Noviembre II,  
Durango, Dgo. C. P. 34220. MÉXICO. Tel 618-8142091

Correo-e: jnavar@ipn.mx). \*Autor para correspondencia.

## RESUMEN

En las laderas semiáridas de la Sierra Madre Oriental del nordeste de México existen numerosas áreas degradadas por efectos del sobrepastoreo. Los trabajos de restauración pueden incluir especies adaptadas a condiciones degradadas y de sequías que prevalecen en la región y que se han probado satisfactoriamente en otras localidades similares y más bien si se encuentran listadas como especies bajo protección en la NOM 059 SEMARNAT 2001. Este trabajo de investigación tuvo por objetivo probar la adaptabilidad de tres especies de pinos piñoneros (*P. cembroides* Zucc., *P. nelsonii* Shaw y *P. pinceana* Gordon) 19 años después (1983-2002) de haber sido plantadas en las laderas de la Sierra Madre Oriental del municipio de Iturbide del estado de Nuevo León, México. El diseño experimental fue de bloques al azar, con tres especies, y tres repeticiones en dos localidades (1,250 y 1,680 m). En cada parcela se plantaron 49 plantas con un espaciamiento de 1 x 1 m, esto es 147 plántulas por especie y por localidad. Durante los primeros tres años y a los 19 años se midieron semestralmente los diámetros basales, la altura total y la supervivencia. *P. pinceana* resultó mejor en supervivencia y altura en ambos sitios y en diámetro basal en el sitio de mayor altitud. *P. cembroides* tuvo mayor diámetro en el sitio de menor elevación. La supervivencia general fue del 50 %, con indicios de mortalidad de árboles por competencia intraespecífica. Los resultados demuestran que *P. pinceana* y *P. cembroides* podrían ser las especies recomendadas a seleccionar en trabajos de reforestación de sitios degradados de las vertientes interiores de la Sierra Madre Oriental.

**PALABRAS CLAVE:** *P. pinceana*, *P. cembroides*, *P. nelsonii*, reforestación, degradación, nordeste de México.

## REFORESTATION TRIALS WITH PINYON PINE SPECIES IN THE NORTHEASTERN OF MEXICO

### SUMMARY

There are numerous degraded areas by overgrazing practices in the interior valleys of the eastern Sierra Madre mountain range of Nuevo Leon, Mexico. Reforestation and plant restoration practices can incorporate tree species adapted to these conditions of degradation as well as to consistent regional drought spells and that they had been previously and successfully tested in other places and above all if these species are listed in any of the red books of the biological conservation. This research work set as objective to test the adaptation of three pinyon pine species (*P. cembroides* Zucc., *P. nelsonii* Shaw. y *P. pinceana* Gord.) 19 years after planted in the slopes of the eastern Sierra Madre mountain range of the state of Nuevo Leon, Mexico. The experimental design employed was a randomized block, with three species, with three replicates, and two locations, characterized by altitude above sea level (1,250 and 1,680 masl). In each quadrat we planted 49 seedlings with a space of 1 x 1 m, with a total for each species and block of 147 seedlings. Basal diameter, top height, and survival were measured every six months during the first three years and a last observation conducted during 2002. The results indicated that *P. pinceana* developed better in top height and survived better at both sites and performed better when growing in basal diameter at site with the highest altitude. *P. cembroides* performed better in basal diameter at the site with the lowest altitude. Survival was in general above 50 % at the end of measurements and there are indications that tree mortality by intraspecific competence was already taking place. These results indicate that both *P. pinceana* and *P. cembroides* can be widely reforested in the slopes of the eastern Sierra Madre mountain range of the state of Nuevo Leon, Mexico.

**KEY WORDS:** *P. pinceana*, *P. cembroides*, *P. nelsonii*, reforestation, land degradation, northeastern México.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques naturales templados que cubren parte importante de las zonas semisecas y templadas del norte de México han sido afectados por acciones antropogénicas de diversas índoles. En las laderas interiores de la Sierra Madre Oriental del nordeste de México, el pastoreo es la principal actividad económica; sin embargo, las cargas animales sobrepasan normalmente la recomendada por agencias gubernamentales. Además de las otras acciones ligadas a la destrucción de los bosques han sido los incendios forestales y los posibles cambios del clima. Para las serranías de Nuevo León, los incendios ocurridos en los años 1989 y 1998 son considerados los más catastróficos afectando 30,899 y 28,000 ha de superficie respectivamente (Semarnat, 2002; Gobierno del estado de Nuevo León, 1998). Las sequías ocurridas recientemente, asociadas posiblemente con el calentamiento de la tierra han puesto de manifiesto la vulnerabilidad de varias especies en los ecosistemas del norte de México, dentro de las cuales destacan varias especies de pinos piñoneros.

Los programas de plantaciones forestales no han sido extensos y tampoco han detenido o amortiguado los procesos de degradación de tierras en el nordeste de México. Las causas parciales han sido la selección de especies inadecuadas a las condiciones naturales, el poco interés de los dueños y la falta de continuidad en los procesos de reforestación y restauración de terrenos degradados. Especies de pinos piñoneros de la región como *P. nelsonii* Shaw y *P. pinceana* Gordon se encuentran en estatus de conservación (Farjon y Page, 1999) y *P. cembroides* Zucc., podrían ser utilizadas en programas preliminares de reforestación. Esta última especie es de importancia económica para la producción de semillas. Son especies de amplia plasticidad genética y ambiental y esto las hace importantes en proyectos de reforestación o restauración de áreas degradadas. Estas especies se distribuyen en regiones con clima semiárido del norte de México (Passini, 1982; Farjon y Styles, 1997) y pueden proporcionar beneficios secundarios por la producción de semillas (piñones), además de la madera y la restauración de la productividad del sitio. Las especies se distribuyen fuera del área de estudio y las poblaciones próximas al área se encuentran a una distancia de 60 km. Los ensayos son clave en la selección de las especies que pudieran potencialmente desarrollar mejores adaptaciones a través de la supervivencia y el crecimiento en los sitios a reforestar.

Los objetivos del presente estudio fueron: a) comparar la adaptación de (*P. nelsonii*, *P. pinceana* y *P. cembroides*), a través del crecimiento en diámetro, altura y supervivencia y b) determinar el efecto de la altitud sobre el nivel del mar en las características adaptativas de las especies en terrenos degradados del nordeste de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del área de estudio.** Las reforestaciones se realizaron en el campo experimental denominado bosque-escuela perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la U.A.N.L. El terreno se ubica cerca del poblado denominado Santa Rosa en el municipio de Iturbide, Nuevo León a 40 km al suroeste de Linares entre las coordenadas geográficas 24° 43' 00" latitud norte 99° 52' 00" longitud oeste. El terreno universitario tiene una superficie de 550 ha con una altitud que oscila desde los 1,200 hasta 1,900 m, enclavado en la Sierra Madre Oriental, la cual se extiende desde el nordeste de México hasta el altiplano central del país. De acuerdo con la estación climática de Santa Rosa de Iturbide, N. L., localizada en las inmediaciones de los dos sitios, la precipitación promedio anual del área es de 600 mm y se presenta principalmente durante dos periodos (mayo-junio y agosto-octubre), con una estación interestival seca, denominada canícula. La precipitación es altamente variable con una desviación estándar de 200 mm (Návar *et al.*, 1994). Los inviernos son secos y fríos. La temperatura promedio anual es de aproximadamente 17 °C. La geología del área consiste en lutitas y calizas de Cretácico Superior, junto con depósitos sedimentarios recientes. La topografía es muy accidentada, con pendientes generalmente de 30-70 % y con crestas de caliza con pendientes menores. Los suelos son delgados con una gran variación en cuanto a los colores y fertilidad. Se muestran grandes pérdidas de suelo y movimiento de piedras sueltas (Woerner, 1990).

### Descripción de las especies de piñoneros

***P. pinceana* Gordon**, árbol de porte pequeño 4-10 m de altura, con fuste corto, ramas largas, delgadas o sub pennadas y follaje de un color verde grisáceo (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997). Crece a lo largo de las cañadas y en los declives de la Mesa Central del Norte y Centro Este de México, en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro, entre los 19° y 25° de latitud norte, asociado con *P. cembroides* (Perry, 1991).

***P. nelsonii* Shaw**, árbol pequeño de 5-10 m de altura, con diámetros de fuste de 10-30 cm, en árboles maduros la copa es baja, redonda y de apariencia arbustiva, las ramas son largas, esbeltas flexibles y muy duras con corteza de color gris persistentemente suave. Yemas cubiertas con resina (Perry, 1991). Crece naturalmente en los estados de Nuevo León y Tamaulipas y en relictos en San Luis Potosí (Passini, 1982).

***P. cembroides* Zucc.** Árbol de 6-12 m de altura y 30 a 60 cm de diámetro, copa de forma redondeada el fuste suele ser corto presentándose bifurcaciones en algunos árboles desde 1.3 m, ramas ascendentes, colocadas en forma irregular en el tallo, con corteza de 1-9 cm de espesor. En árboles jóvenes las ramas son regularmente espaciadas y de forma piramidal. Crece en pendientes secas y mesetas desde

Puebla, México en los 20° de latitud norte, hasta Colorado y Utah (Perry, 1991).

**Metodología.** El estudio se realizó en un sector del bosque escuela denominado "La Loma" con una altitud de 1,680 m, y un segundo sitio denominado "Las Adjuntas" localizado a una altitud de 1,250 m, ambos localizados dentro del campo experimental bosque-escuela propiedad de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. El terreno fue preparado cuatro meses antes de llevarse a cabo la reforestación, lo cual consistió en el trazado y la apertura de cepas de 20 cm de ancho y 40 cm de profundidad. La plantación se realizó durante los meses de junio a septiembre de 1983. Las plántulas se adquirieron en el municipio de Galena, Nuevo León de diversos viveros gubernamentales.

**Diseño experimental.** El diseño experimental fue en arreglo de bloques completos al azar para cada una de las dos localidades de reforestación, tomando las tres especies como tratamientos, con tres repeticiones para cada una de ellas. Cada sitio consta de nueve parcelas acumulando un total de 18 parcelas en las dos localidades. En cada parcela se plantaron 49 plantas a un espaciamiento de 1 x 1 m para totalizar 147 plántulas por especie y 441 plántulas por localidad. Los parámetros evaluados fueron supervivencia (%), altura (cm) y diámetro basal (cm). Estos parámetros se registraron en julio de 1983, febrero de 1984, julio de 1984, julio de 1985, julio de 1986, julio de 1987 y julio de 2002. Los datos de supervivencia y crecimiento se analizaron mediante análisis de varianza, con comparaciones de medias mediante pruebas de Tukey. Para mejor observación de los resultados los datos se separaron en dos grupos; el primero con la información medida durante los primeros cinco años y el segundo con los datos colectados en la última medición. El modelo estadístico de este diseño experimental para cada uno de estos grupos fue el siguiente:

a) para las plántulas de menos de cinco años de edad

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

b) para los árboles de 19 años de edad

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Donde  $y_{ijk}$  = la observación  $ijk$ ,  $\mu$  = el promedio aritmético,  $\alpha_i$  = es el efecto de las especies,  $\beta_j$  = es el efecto de las localidades,  $\delta_k$  = es el efecto de los tiempos o edades de las plántulas y  $\varepsilon_{ijk}$  = es el efecto del error aleatorio.

Las fuentes de variación importantes fueron: las especies (3), las localidades (2) el tiempo de reforestación (6) para el primer grupo. Para el segundo grupo sólo las dos primeras fuentes de variación fueron consideradas. Otras fuentes de variación como tamaño y tipo de envase usado en las tres especies y procedencia de las semillas no fueron

estudiadas en la presente investigación. Previo al sometimiento del análisis de varianza, los datos fueron revisados por normalidad por medio de la prueba de Shapiro-Wilks (SAS, 2000). Los datos de supervivencia se transformaron al arco tangente para reunir los requisitos de normalidad.

Además se ajustaron ecuaciones de regresión no lineales al crecimiento en altura en función de la edad para las especies, por cada localidad (2). Se ajustó también la distribución Weibull a los diámetros basales para observar mejor la dispersión de la variable dasométrica. Esta función de densidad se ajustó para cada especie, localidad, y fecha de medición. La ecuación probabilística Weibull de tres parámetros como función de densidad probabilística (pdf) se define con la siguiente ecuación matemática (Clutter *et al.*, 1983; Vanclay, 1994):

$$P_x(X) = \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \left(\frac{X - \varepsilon}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{X - \varepsilon}{\beta}\right)^\alpha} \quad (3)$$

y como función de densidad de probabilidad acumulada (cdf)

$$P(x \leq X) = 1 - e^{-\left(\frac{X - \varepsilon}{\beta}\right)^\alpha} \quad (4)$$

Donde  $P_x(X)$  = probabilidad de la variable aleatoria  $x$ ,  $\beta$  y  $\varepsilon$  son los parámetros de forma, escala y posición respectivamente.

Návar y Contreras (2000) desarrollaron programas de cómputo para estimar los parámetros de la función de densidad por diversos procedimientos. En este reporte se usó la metodología de momentos en la estimación de los parámetros de pdf. Las ecuaciones [5, 6 y 7] tomadas de Haan (1986) resuelven la estimación de parámetros. El coeficiente de asimetría ( $\gamma$ ) se relaciona con el parámetro de forma ( $\alpha$ ) por medio de la ecuación [3]:

$$\gamma = \frac{\Gamma(1+3/\alpha) - 3\Gamma(1+2/\alpha)\Gamma(1+1/\alpha) + 2\Gamma^3(1+1/\alpha)}{[\Gamma(1+2/\alpha) - \Gamma^2(1+1/\alpha)]^{3/2}} \quad (5)$$

El parámetro de forma se resuelve iterativamente para utilizarse en la estimación de los parámetros de escala y posición por medio de las ecuaciones [4] y [5], respectivamente.

$$\beta \left[ \frac{\sigma^2}{\Gamma(1+2/\alpha) - \Gamma^2(1+1/\alpha)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \mu - \beta\Gamma(1 + 1/\alpha) \quad (7)$$

Donde:  $\mu$  y  $\sigma$  son el promedio y la desviación estándar de la variable aleatoria diámetro, respectivamente y  $\Gamma(x)$  es la función Gamma.

## RESULTADOS

Los resultados del análisis de varianza para las primeras fechas (< 5 años) mostraron que las especies ( $P=0.0001$ ) y las edades ( $P=0.0001$ ) tuvieron un efecto estadísticamente significativo en el diámetro basal pero no en las localidades ( $P=0.3790$ ). Las pruebas de Tukey mostraron para las especies, que *P. cembroides* (0.84<sup>A</sup>) tuvo el mayor diámetro basal, seguido de *P. pinceana* (0.49<sup>B</sup>) y finalmente por *P. nelsonii* (0.21<sup>C</sup>). Para las edades de las plántulas, la prueba de Tukey mostró que los diámetros basales fueron mayores en julio de 1987 (0.81<sup>A</sup> cm), seguido de julio de 1986 (0.61<sup>B</sup> cm), seguido de julio de 1985 (0.50<sup>C</sup> mm) y finalmente por el resto de las edades de plántulas. Las plántulas no mostraron diferencias significativas durante las primeras tres fechas de medición (julio de 1983, febrero de 1984 y julio de 1985) posiblemente porque éstas se encontraban todavía en un periodo de adaptación al sitio. Las localidades (La Loma y Las Adjuntas) no mostraron diferencias significativas en el diámetro basal en plántulas de menos de cinco años de edad.

Las alturas no fueron diferentes significativamente entre las especies ( $P=0.16$ ) ni entre las localidades ( $P=0.91$ ) pero sí entre las edades de las plántulas ( $P=0.0001$ ). Entre las edades de las plántulas, sólo la última fecha de medición (julio de 1987) mostró ser diferente estadísticamente (0.54<sup>A</sup> m) que el resto de las fechas de medición. Para desarrollar en altura, las plántulas necesitan mayor tiempo para adaptarse a las condiciones del sitio e iniciar su crecimiento vertical.

La supervivencia fue estadísticamente diferente entre las especies ( $P=0.0001$ ), entre las localidades ( $P=0.0001$ ) y entre las fechas de medición ( $P=0.0001$ ). Las especies *P. pinceana* (62<sup>A</sup> %) y *P. cembroides* (60<sup>A</sup> %) mostraron supervivencias altas, mayores al 50 % en ambos sitios y estadísticamente diferentes a *P. nelsonii* (44<sup>B</sup> %). La localidad 'Las Adjuntas' presentó las mayores supervivencias con un 60 %, mientras que la localidad 'La Loma' presentó sólo un promedio de 52 % de supervivencia. *P. nelsonii* registró la menor supervivencia en la localidad 'La Loma' con 39 %.

El crecimiento en altura de las tres especies para los dos sitios se reporta en la Figura 1. Las ecuaciones de predicción del crecimiento en altura mejor ajustadas fueron las funciones de potencia. Las pendientes con valores mayores que 1.0 indican que las especies se encuentran todavía acelerando su crecimiento. Los valores de las pendientes son mayores para *P. pinceana* y *P. nelsonii* que para *P. cembroides*.

des. Los árboles están creciendo mejor en altura en Las Adjuntas, el sitio de menor altitud. En este sitio, la tasa de crecimiento en altura por unidad de tiempo es similar en las tres especies. Sin embargo, la tasa de inicio en el crecimiento es menor en *P. nelsonii*. Las especies *P. cembroides* y *P. pinceana* fueron plantados inicialmente con una mayor altura, aunque no estadísticamente diferentes. Aunque *P. pinceana* parece crecer a una tasa menor que *P. cembroides* ésta alcanza una mayor altura a los 19 años de edad. Las diferencias en la altura son notorias y estadísticamente significativas entre *P. pinceana*, *P. cembroides* y *P. nelsonii* para todas las fechas iniciales de la plantación.

En el sitio 'La Loma', de mayor altitud, la tasa de crecimiento en altura es mayor también en *P. pinceana* en todas las fechas de observación después del séptimo año de medición. En este sitio, existe una mayor interacción entre las especies plantadas para las fechas de observación y *P. nelsonii* se queda atrás en la última observación. La supervivencia en este sitio fue menor que en el sitio 1 y aunque la especie *P. nelsonii* presentó de nuevo la más baja supervivencia (39 %), ya se presentan indicios de sobre densidad y este parámetro puede modificar substancialmente los ritmos de crecimiento en altura por la competencia por la luz.

Las estructuras diamétricas basales modeladas por la distribución Weibull para cada una de las especies, de las localidades y de las edades registradas con menos de cinco años se presentan en las Figuras 2 a 4.

Es clara la amplia dispersión de las clases diamétricas que se observan en las tres especies de pinos piñoneros (Figuras 2, 3 y 4) y también el desplazamiento que sufren

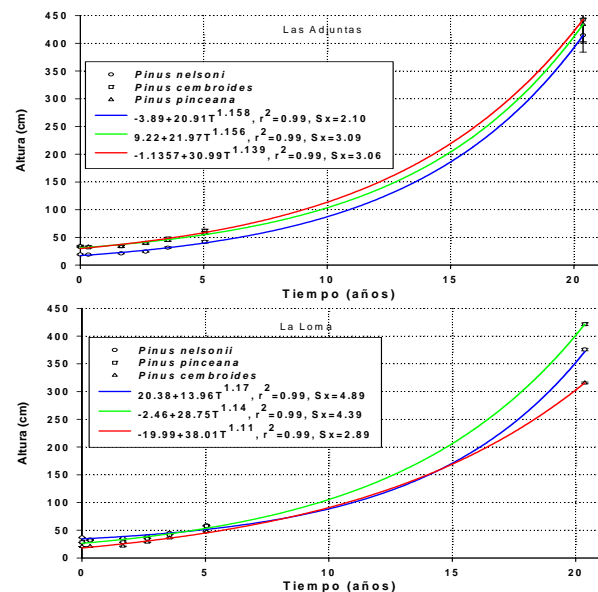


FIGURA 1. El crecimiento en altura de la reforestación con tres especies de pinos piñoneros en dos localidades del nordeste de México.

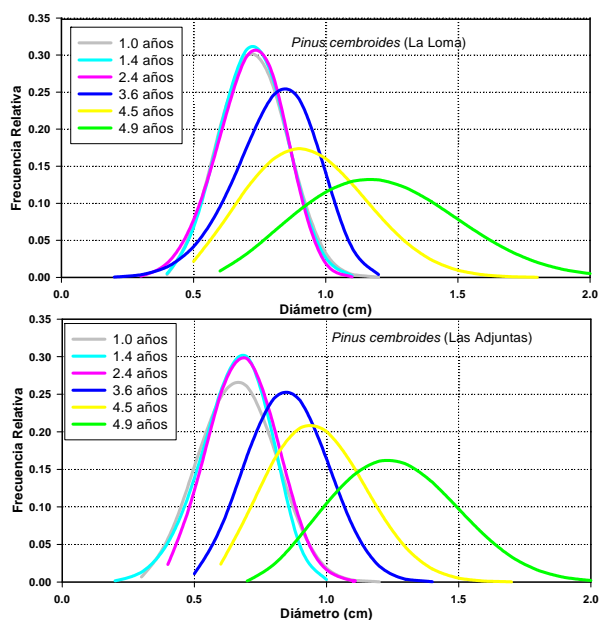


FIGURA 2. Las estructuras diamétricas basales para *P. cembroides* en dos localidades para seis fechas de muestreo en Iturbide, N. L., México.

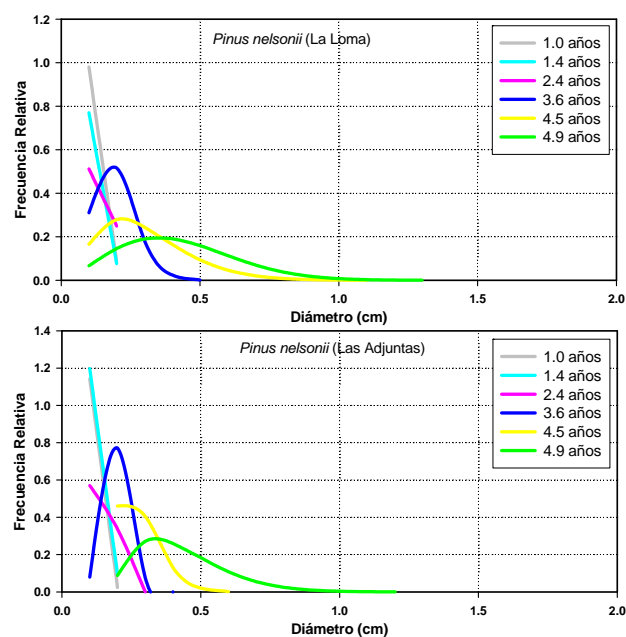


FIGURA 4. Las estructuras diamétricas basales para *P. nelsonii* en dos localidades para seis fechas de muestreo en Iturbide, N. L., México.

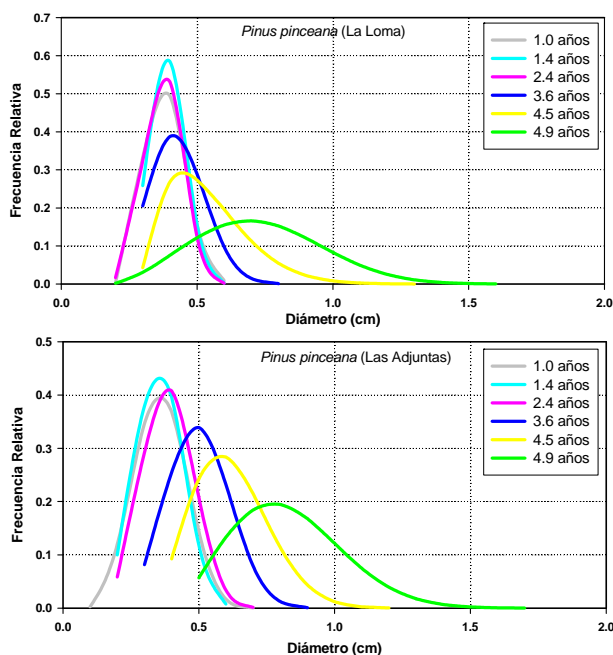


FIGURA 3. Las estructuras diamétricas basales para *P. piniceana* en dos localidades para 6 fechas de muestreo en Iturbide, N. L., México.

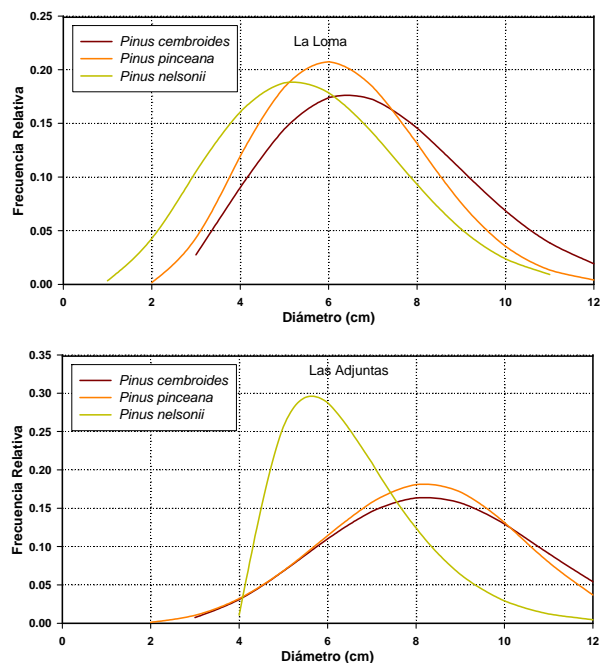


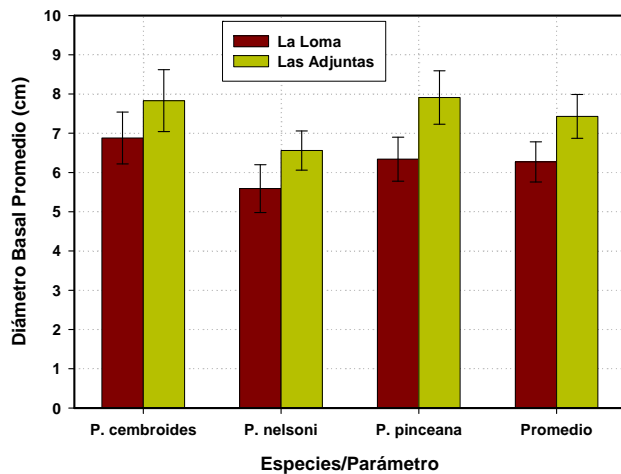
FIGURA 5. Las estructuras diamétricas basales para las tres especies de piñoneros reforestadas a una edad de 19 años en dos localidades de Iturbide, N. L., México.

las distribuciones por el incremento en la edad. Las formas de las distribuciones, sin embargo, oscilan desde casi simétricas hasta completamente sesgadas, como es el caso de *P. nelsonii* en 'Las Adjuntas'.

Las distribuciones se hacen más simétricas a la edad de 19 años de la reforestación para la mayoría de las

especies, con la excepción de aquella para *P. nelsonii* en la localidad 'Las Adjuntas' (Figura 5).

Los estadísticos promedio del diámetro basal para la última fecha de registro resultaron ser estadísticamente diferentes entre las localidades ( $P=0.01$ ) y entre las especies aunque sólo para (*P. piniceana*) ( $P=0.0037$ ) (Figura 6).



**FIGURA 6.** Los diámetros basales promedio e intervalos de confianza ( $P=0.05$ ) para tres especies de piñoneros plantados en dos localidades en Iturbide, N. L., México 19 años después de la plantación.

Es claro que el diámetro basal es mayor en el sitio 'Las Adjuntas' que en el de la 'La Loma' para el promedio de las tres especies y para *P. pinceana* pero no para *P. cembroides* y *P. nelsonii*. Es también interesante observar que *P. pinceana* registró el mayor diámetro basal promedio en el sitio 'Las Adjuntas' que *P. nelsonii*. De igual manera, en la localidad 'La Loma', *P. cembroides* alcanza una diámetro basal promedio mayor que *P. nelsonii* y similar al de *P. pinceana*.

## DISCUSIÓN

Los crecimientos en altura y diámetro de las especies estudiadas a la edad de 19 años son entre 6 y 7 cm de diámetro basal y entre 3.5 y 5.0 m de altura total. A los cinco años de edad son en promedio de 0.5 m de altura y de menos de 1 cm de diámetro basal. Las localidades mostraron diferencias estadísticas en los parámetros registrados. El sitio 1 registró las especies con el mayor crecimiento en diámetro y en altura para todos los piñoneros en contraste con el sitio 2. La supervivencia en el sitio 1 fue también mayor en un 8 % en contraste con la supervivencia de las especies en el sitio 2. La mayor altitud, el suelo menos profundo y con mayor pedregosidad parece explicar los menores ritmos de crecimiento y supervivencia en el sitio 'La Loma'.

Para el año 2002, se observa la mortalidad por competencia intraespecífica en las especies con mayor supervivencia. Árboles dominados y codominados con diámetros basales menores se encuentran estresados por la competencia e indican la necesidad de la conducción de raleos de baja densidad. Aún en *P. nelsonii*, la especie que presentó la menor supervivencia en este sitio (49 %) se observa el cierre de copas en la mayoría de las parcelas. Esta nueva fase silvícola puede modificar substancialmente

los ritmos de crecimiento sobre todo en altura, porque los árboles entran en una fase de competencia extrema en la lucha por alcanzar la dominancia.

Los datos promedio de diámetro, altura y supervivencia son menores que aquellos valores reportados en estudios de procedencias para especies mediterráneas reforestadas por cinco años en la región de estudio (Domínguez *et al.*, 1995; 1997). El crecimiento de los piñoneros es generalmente lento, alcanzando cerca de los 10 m en 150 años en sitios del oeste de Estados Unidos (<http://mojavedesert.net/trees/pinus-monophylla/2.00.html>). En el estado de Nuevo León, Nívar (2008) midió alturas y diámetros normales promedio de 10 m y 15 cm, respectivamente en bosques dominados por el piñonero *P. cembroides* con una edad promedio de 60 años. Los modelos de crecimiento en altura indican un incremento corriente anual en altura superior a 30 cm por año para todas las especies de piñoneros. Esto parece ser mayor que los incrementos reportados por Chojnacky (1997) para *P. edulis* del suroeste de los Estados Unidos, quien reportó incrementos en altura entre 10 a 15 cm por año. Los incrementos medios anuales en diámetro basal para las tres especies de piñoneros de este estudio se aproximan a 0.36 cm por año. Chojnacky (1997) reportó incrementos diamétricos de aproximadamente 0.18 cm por año en árboles de la especie *P. edulis* de 50 años de edad del suroeste de Estados Unidos.

El bajo crecimiento de las especies de piñoneros se explica por la escasa precipitación anual, la cual se encuentra generalmente por debajo de los 600 mm, aunado a una alta evapotranspiración potencial que alcanza los 900 mm, la cual fue estimada para la estación climática de referencia por el método de Thornthwaite (Nívar *et al.*, 1994). Las exposiciones sur y sus derivaciones poseen una mayor evapotranspiración en el área de estudio como se observa por los diferentes tipos de vegetación. Otra explicación a la baja productividad de los sitios es que las especies aunque se plantaron en suelos más o menos profundos (~40 cm), en el sitio Las Adjuntas, la mayoría de las lluvias (60 %) presenta láminas menores que 5 mm que sólo mojan la superficie del suelo o se gastan en la intercepción.

Las especies de piñoneros presentan también bajos crecimientos en condiciones naturales y esto se debe a que se distribuyen en climas semi áridos (Critchfield y Little, 1966; Passini, 1982; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997). *P. pinceana* se distribuye en los sitios más secos, con precipitaciones entre 300 y 400 mm, con altitudes de entre 1,500-2,300 m (Perry, 1991; Ledig *et al.*, 2001), en bosquetes con bajas densidades caracterizados por matorrales bajos y generalmente se asocia con *P. cembroides*. En general, *P. pinceana* parece distribuirse y presentar mejores densidades en sitios menos secos que *P. cembroides* y probablemente por esta razón se adaptan adecuadamente a los climas semi-secos del área de estudio, cercanos a Iturbide, N. L., México. Por otro lado, *P. nelsonii* se distribuye

a mayores altitudes y ésta podría ser una limitante para su adaptación a estas altitudes tan bajas. A pesar de la baja supervivencia de esta especie, su densidad actual permite prever que la mortalidad durante los primeros 20 años no es suficiente para mostrar el éxito en estos programas de reforestación. El cierre de copas de las especies plantadas y la incipiente mortalidad por competencia intra-específica indican que la densidad no es una limitante en el establecimiento de estas reforestaciones. El aislamiento de las plantaciones al pastoreo por cabras, vacas, borregos, caballos y asnos parece explicar la alta densidad a los 19 años de edad de la reforestación.

El estado de conservación en que se encuentran listadas las especies *P. pinceana* y *P. nelsonii* motivan y justifican este tipo de ensayos de especies en trabajos de investigación para observar las posibilidades de éxito de las reforestaciones en el nordeste de México y dispersar su germoplasma hacia otras áreas para poder redefinir en el futuro cercano su membresía en los libros de conservación de la diversidad biológica. Las reforestaciones ya presentan producción incipiente de conos y piñones viables ya que durante los trabajos de medición durante el 2002 se pudieron observar piñones comestibles de las tres especies reforestadas. Sin embargo, aun no se observa regeneración proveniente por la caída de las semillas de estos árboles. Es posible que lo cerrado de las copas y el consumo de las semillas por depredadores limiten el establecimiento de la regeneración en algunos claros del sitio. Aunque no se cuantificó la producción de piñones durante las mediciones, se estima que estos árboles podrían producir después de los 12 años y con los cuidados necesarios un promedio de 0.5 toneladas por hectárea por año (<http://www.pinenut.com/grow.htm>; [http://www.cirrusimage.com/tree\\_pinyon\\_pine.htm](http://www.cirrusimage.com/tree_pinyon_pine.htm)).

La reforestación con pinos piñoneros en sitios de baja productividad por su degradación estriba en la posibilidad de obtener productos finales como trocero y piñones. Por ahora se está trabajando en modelar el crecimiento de estas especies en sus sitios de origen, para poder determinar cómo las reforestaciones están creciendo en contraste con sitios de origen (De los Ríos-Carrasco *et al.*, 2008). Esta información podría generar beneficios adicionales en el largo plazo en la zona de estudio, como la posibilidad de venderlos a temprana edad como árboles de navidad.

Otra fuente de ingresos provenientes de este tipo de reforestaciones podrían ser los servicios ambientales. Los proyectos de captura de carbono son adicionales, pues en los sitios donde se estableció la regeneración no existía vegetación arbórea, aunque sí arbustiva baja. Se ha modelado que existen en promedio a la edad de 30 años, almacenes de carbono de 40 Mg ha<sup>-1</sup> (De los Ríos-Carrasco, 2008). Por esta razón, el carbono almacenado podría eventualmente comerciarse en los mercados internacionales, como es el Chicago Carbon Exchange. Otras posibilidades son los

mercados aceptados por el desarrollo de las tecnologías limpias provenientes del Protocolo de Kyoto o de cualquier otra iniciativa que endorosan la reducción de emisiones o incremento en la captura por reforestaciones.

## CONCLUSIONES

Reforestaciones con pinos piñoneros (*P. cembroides*, *P. pinceana* y *P. nelsonii*) son exitosas en Iturbide, N. L., México porque 19 años después de haberse plantado presentan la necesidad de realizarse pre aclareos porque existe competencia intra específica por el traslape de copas. La alta densidad inicial de la plantación (10,000 arbolillos por hectárea), la alta supervivencia (en promedio >50 %) y la altura promedio a los 19 años de sobre los 4 m ocasionan la mortalidad de individuos por competencia. Las reforestaciones ya presentan producción incipiente de piñones. Por sus mayores crecimientos, se recomiendan las especies *P. cembroides* y *P. pinceana* en trabajos de reforestación extensivos en los sitios semi-secos, degradados de la Sierra Madre Oriental del estado de Nuevo León, México. Aunque *P. nelsonii* no desarrolla crecimiento tan diferente a las otras especies de piñoneros reforestadas, su expansión por programas de reforestación en la zona podría cambiar su estatus en la NOM 059 SEMARNAT, 2001.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen los apoyos brindados al Ing. Roque Félix Cervantes por su ayuda en la colecta de datos de campo.

## LITERATURA CITADA

- CHOJNACKY, D. C. 1997. Modeling diameter growth for pinyon and juniper trees in dryland forests. *Forest Ecology and Management* 93: 21-31.
- CLUTTER, J. L.; FORSTON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. 1983. *Timber management: A quantitative approach*. Wiley, New York. 333 p.
- CRITCHFIELD, W. B.; LITTLE E. L. 1966. *Geographic distribution of the pines of the world*. USDA Forest Service. Miscellaneous Publication Núm. 991. Washington, D. C. 97 p.
- DE LOS RÍOS-CARRASCO, DE HOOGH, R.; NÁVAR, J. 2008. Projections of carbon stocks in sites reforested with pinyon pine species in northeastern Mexico. *Journal of Arid Environments*. En revisión.
- DOMÍNGUEZ, A.; NÁVAR, J.; JIMÉNEZ, J.; AGUIRRE, O. 1995. *Pinus halepensis* Mill.: Una alternativa para la recuperación de terrenos marginales en la Sierra Madre Oriental del nordeste de México. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 4(1): 33-43.
- DOMÍNGUEZ, A.; NÁVAR, J.; JIMÉNEZ, J. 1997. Supervivencia y crecimiento inicial de una plantación con *Pinus halepensis* Mill., *Pinus eldarica* Medw., y *Pinus brutia* Ten. En comparación con plántulas de *Pinus estevezii* (Mart.) Perry provenientes de regeneración natural en el noreste de México. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* 6: 93-102.

- FARJON, B.; STYLES, B. 1997. *Pinus* (Pinaceae) Flora Neotropica Monografía 75. The New York Botanical Garden New York. USA. 291 p.
- FARJON, A. C.; PAGE, N. 1999. Conifers: status survey and conservation action plan. IUCN/Species Survival Commission Conifer Specialist Group, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland.
- HAAN, C. T. 1986. *Statistical Methods in Hydrology*. Iowa State Press. 378 p.
- <http://mojavedesert.net/trees/pinus-monophylla/2.00.html>
- <http://www.pinenut.com/grow.htm>.
- [http://www.cirrusimage.com/tree\\_pinyon\\_pine.htm](http://www.cirrusimage.com/tree_pinyon_pine.htm).
- LEDIG, F. T., CAPÓ-ARTEAGA, M. A.; HODGSKISS, P. D.; SBAY, H.; FLORES-LÓPEZ, C.; CONKLE, M. T.; BERMEJO-VELÁZQUEZ, B. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* 88: 1977-1987.
- NÁVAR, J.; CAVAZOS, T.; DOMÍNGUEZ, P. A. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades del estado de Nuevo León. En C. Pola S., J. A. Ramírez F., M. M. Rangel, & I. Navarro-L. (Eds) *Actas Fac. Ciencias de la Tierra UANL Linares*, 8: 71-82.
- NÁVAR, J.; CONTRERAS J. 2000. Ajuste de la distribución Weibull a las estructuras diamétricas de rodales irregulares de pino de Durango, Mexico. *Agrociencia* 34: 356-361.
- NÁVAR, J. 2008. Los bosques de pino-encino del estado de Nuevo León; el manejo sustentable para bienes y servicios ambientales. *Madera y Bosques*. Aprobado preliminarmente para publicación.
- NOM-ECOL-059. 2001. Qué determina las especies y Subespecies de Flora y Fauna Silvestre Terrestre y Acuáticas en Peligro de Extinción, Amenazadas, Raras y las Sujetas a Protección Especial y que Establece Especificaciones para su Protección (Publicada en el D. O. F. de fecha 16 de mayo de 1994).
- PASSINI, M. F. 1982. Les forets de *Pinus cembridés* au Mexique. Mission archeologique française au Mexique. *Estudes Mesoamericanes* 11-5. Edit. Recherche sur les Civilizations. Paris. Francia.
- PERRY, J. 1991. *The Pines of México and Central America*. Agricultural Science Program The Rockefeller Foundation 231 p.
- SAS. *Statistical Analysis System*. 2000. *SAS-STAT User's Guide*. Cary, North Carolina. USA. 1028 p.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA, GOBIERNO DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN. 1998. Los incendios en Nuevo León México durante el verano de 1998. Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental, ITESM Campus Monterrey; Facultad de Ciencias Forestales UANL. 20 p.
- SEMARNAT. 2002. Campaña estatal de protección contra incendios forestales 2002. Resultados Finales. Subdelegación de Gestión para la protección Ambiental y Recursos Naturales, SEMARNAT Delegación Federal en Nuevo León. Monterrey, N. L., México.
- VANCLAY, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield; applications to mixed tropical forest. Centre for Ag. and Biosci. International Wallingford, U. K. 312 p.
- WOERNER, M. 1990. Los suelos del Bosque-Escuela de la UANL en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N. L. Reporte Científico Núm. 20 Facultad de Ciencias Forestales. UANL Linares, Nuevo León 90 p.