

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Sobrevivencia Y Crecimiento De Cuatro Especies De Pino  
En El CAESA, Arteaga, Coahuila

Por:

**KAREN ENEDINA RAFAEL CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Sobrevivencia Y Crecimiento De Cuatro Especies De Pino  
En El CAESA, Arteaga, Coahuila

Por:

**KAREN ENEDINA RAFAEL CRUZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría:



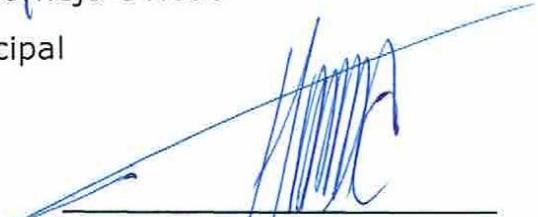
Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

Asesor Principal



M.C. Salvador Valencia Manzo

Coasesor



Dr. Celestino Flores López

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

## **Declaración de no plagio**

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karen Enedina Rafael Cruz', written over a horizontal line.

Karen Enedina Rafael Cruz

El presente trabajo de tesis fue financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación: Diseño y planeación de la conversión de un ensayo de procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. a un área semillera, establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), Arteaga, Coah., con clave: 38111-425103001-2108. Dicho proyecto fue aprobado por la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y cuyo responsable fue el Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo. Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

## **DEDICATORIA**

**A mis padres** Vito Rafael y Estela Cruz Garabito por ser los formadores de mi persona e inculcarme valores los cuales me han llevado por el camino correcto en la vida, por sus esfuerzos, sacrificios, desvelos y preocupaciones que han permitido estar donde estoy, hoy saben que su esfuerzo no ha sido en vano. Por todo el apoyo que me han brindado durante mis estudios, por la educación, amor, cariño y consejos, ya que han sido las mejores enseñanzas que he recibido a lo largo de mi vida. Su ejemplo de humildad, honestidad y de trabajo los llevo en la mente y en el corazón. Los quiero mucho. Dios los bendiga siempre y los guarde a mi lado muchos años más.

¡Este logro también es suyo!

**A mis hermanos** César, Johan y Zuri por el apoyo moral que siempre me han dado, no me queda más que decirles que con decisión y mucho entusiasmo de salir adelante se pueden cumplir las metas que se propongan.

**A mis abuelos** Juana Garabito (+) por darme el cariño y apoyo desde niña y aunque en este momento no estás, siempre te llevo en la mente y en el corazón. A mi abuelo Avelino Cruz por su gran apoyo y grandes consejos que me ha brindado para que saliera adelante y terminara la carrera profesional.

**A mi pareja** Elías Cruz Cruz por todo su amor, cariño, amistad y consejos que me ha dado, además por confiar en mí y por brindarme todo el apoyo y motivación cuando más lo necesitaba y por cuidar de mí todo el tiempo. Gracias por estar conmigo, tenerte a mi lado fue fundamental para mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios** por darme la vida, por guiarme y por haber permitido culminar una meta más de mi vida.

**A mis padres, abuelos, hermanos, tíos** por su incondicional apoyo brindado en mi formación académica.

**A mi pareja** por el gran apoyo que me ha brindado, por confiar siempre en mí para que pudiera cumplir mi sueño.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de cumplir un sueño, al permitir formarme como profesional.

**Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo** por asesorarme durante este trabajo de tesis y por el empeño puesto para el cumplimiento de dicho trabajo, pero en especial por los consejos, apoyo y la confianza puesta en mí.

**A mis coasesores** de tesis, el Dr. Celestino Flores López y el M.C. Salvador Valencia Manzo por haberme brindado su apoyo, conocimientos y su tiempo en la elaboración de este trabajo, así como su amabilidad y comprensión. ¡Gracias!

**A los profesores** del Departamento Forestal por su conocimiento compartido para mi formación profesional.

Gracias por todo, ustedes son parte de esto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS .....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN <sup>1</sup> .....	1
1.1 Objetivos .....	4
1.2 Hipótesis.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
2.1 Mejoramiento genético .....	6
2.2 Ensayo de especies .....	7
2.3 <i>Pinus cembroides</i> Zucc. ....	8
2.4 <i>Pinus pinceana</i> Gordon .....	10
2.5 <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.....	11
2.6 <i>Pinus halepensis</i> Mill.....	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Descripción del área de estudio.....	17
3.1.1 Ubicación y localización .....	17
3.1.2 Fisiografía e hidrología.....	17

3.1.3	Geología y edafología .....	18
3.1.4	Clima y vegetación .....	18
3.2	Diseño experimental.....	19
3.3	Variables a evaluar.....	20
3.3.1	Sobrevivencia .....	20
3.3.2	Crecimiento en altura total, diámetro a la base y diámetro normal.....	20
3.4	Transformación de variables.....	21
3.4.1	Sobrevivencia .....	21
3.4.2	Crecimiento relativo .....	21
3.5	Análisis estadístico .....	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1	Sobrevivencia .....	23
4.2	Altura .....	33
4.3	Diámetro a la base .....	50
4.4	Diámetro normal.....	58
5.	CONCLUSIONES.....	65
6.	RECOMENDACIONES .....	66
7.	REFERENCIAS.....	67
8.	ANEXOS.....	78
	Anexo 1: Programas en SAS para el análisis de varianza .....	78
	Anexo 2: Análisis de varianza para las variables estudiadas .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Valores medios de sobrevivencia (%) en tres años en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (Pi ha), *Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga. .... 24

Figura 2. Valores medios de altura (m) para el año 2016 y 2022, y crecimiento relativo en altura (CRALT;  $m\ m^{-1}\ año^{-1}$ ) de los años del 92-22 en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (Pi ha), *Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah. .... 34

Figura 3. Valores medios de diámetro a la base (DB; cm) para el año 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (Pi ha), *Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah. .... 51

Figura 4. Valores medios de diámetro normal (DN; cm) para el año 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (Pi ha), *Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah. .... 59

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Supervivencia (%) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de supervivencia (%) en tres años en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah. .... 26

Cuadro 2. Altura (m) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios altura (m) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah..... 36

Cuadro 3. Crecimiento relativo en altura ( $m\ m^{-1}\ año^{-1}$ ) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios Crecimiento relativo en altura (CRALT) ( $m\ m^{-1}\ año^{-1}$ ) de los años del 92-22, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah..... 46

Cuadro 4. Diámetro a la base (cm) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de diámetro a la base (cm) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*),

*Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah..... 53

Cuadro 5. Diámetro normal (cm) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de diámetro normal (cm) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (Pi ha), *Pinus cembroides* Zucc. (Pi ce), *Pinus pinceana* Gordon (Pi pi) y *Pinus nelsonii* Shaw (Pi ne) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah..... 61

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la sobrevivencia y los crecimientos en altura, diámetro normal y diámetro a la base en un ensayo de cuatro especies de pino (*Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pinceana* Gordon, *Pinus nelsonii* Shaw. y *Pinus halepensis* Mill.) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), Arteaga, Coahuila.

La sobrevivencia y los crecimientos se analizaron con base en un análisis de varianza y cuando se encontraron diferencias, al  $\alpha=0.05$ , se hizo una comparación de medias con prueba de Tukey al  $\alpha=0.05$ .

El análisis de varianza para la sobrevivencia encontró diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las cuatro especies de pino en los tres años evaluados 1994, 2016 y 2022. *P. cembroides* tuvo los valores promedio más altos (85.2 %) y *P. nelsonii* tuvo los valores más bajos (33.8 %). El análisis de varianza encontró diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las especies para la altura, para el crecimiento relativo en altura de 1992 a 2022, para el diámetro a la base y para el diámetro normal en los años 2016 y 2022.

En general, *P. halepensis*, fue la especie que obtuvo los valores más altos de altura, diámetro a la base y diámetro normal. En contraste, *P. nelsonii* fue la especie que obtuvo los valores más bajos de altura, diámetro a la base y diámetro normal en las evaluaciones de los años 2016 y 2022.

Palabras claves: sobrevivencia, crecimiento, ensayo, *Pinus cembroides*, *Pinus halepensis*, *Pinus nelsonii*, *Pinus pinceana* y crecimiento relativo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine tree survival and growth on total height, diameter breast high and basal diameter, in a four pine species trail (*Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pinceana* Gordon, *Pinus nelsonii* Shaw. y *Pinus halepensis* Mill.) established 29 years ago at the Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), Arteaga, Coahuila.

Analyses of variance were performed for the survival and growth rates to compare the four pine species. When the analysis of variance found differences at  $\alpha=0.05$ , a Tukey mean comparison was performed at  $\alpha=0.05$ .

The analysis of variance found highly significant differences ( $p < 0.01$ ) among the four pine species for the survival rate at the years 1994, 2016 y 2022. *P. cembroides* (85.2 %) had the highest mean survival rate while *P. nelsonii* (33.8 %) had the lowest survival rate. Also, the analyses of variance found highly significant differences ( $p < 0.01$ ) among the four pine species for the total height, relative height growth rate from 1992 to 2022, basal diameter and diameter at breast high for the years 2016 and 2022.

In general, *P. halepensis* had the highest values for the total height, basal diameter and diameter at breast high. In contrast, *P. nelsonii* had the lowest values for the total height, basal diameter and diameter at breast high for the years 2016 y 2022.

Key words: survival, growth, trail, *Pinus cembroides*, *Pinus halepensis*, *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana*, relative growth rate.

## 1. INTRODUCCIÓN<sup>1</sup>

En los bosques de coníferas de México las especies del género *Pinus* son las que mayor presencia tienen (Rzedowski, 2006), lo cual se debe en gran medida a la enorme diversidad de pinos, ya que México es considerado un centro de diversidad genética de este género (Sánchez, 2008). En México, los piñoneros se localizan en zonas áridas y semiáridas, principalmente del norte del país, donde tienen una importancia ecológica estratégica en el mantenimiento del régimen hidrológico de las cuencas y la sobrevivencia de numerosas especies de fauna (Caballero y Ávila, 1989).

En el sur de Coahuila existen varias especies de pinos piñoneros que cobran gran importancia económica, ecológica y científica (Flores *et al.*, 2004). Los piñoneros conforman bosques puros que crecen en condiciones pobres, pero que su beneficio es tan alto que se les considera como el elemento fundamental del microclima que caracteriza a las zonas áridas y semiáridas (Flores *et al.*, 2004).

Las sequías ocurridas recientemente, asociadas a lo mejor por 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 (Ríos *et al.*, 2008). La degradación de los recursos forestales que ha sufrido México ha ocasionado la reducción de la biodiversidad; para frenar este daño y recuperar la riqueza forestal, es necesario el establecimiento de plantaciones forestales

<sup>1</sup>Esta tesis sigue el formato de la Revista Mexicana de Ciencia Forestal 1

de protección y restauración como alternativa para recuperar terrenos forestales y recuperar su productividad y protegerlos contra la erosión. (Villarreal, 1994; Navarro, 2000).

Cabe mencionar que los programas de plantaciones forestales no han sido extensos y tampoco han detenido o amortiguado los procesos de degradación de tierras en el noroeste de México (Ríos *et al.*, 2008), pero a pesar de eso han sido parte importante en el uso de la tierra desde hace siglos y seguirá en aumento en los próximos años, tanto para la producción de madera con fines industriales como para la generación de servicios, especialmente la recuperación de tierras degradadas y la lucha contra la desertificación, con los consiguientes beneficios económicos, ambientales y sociales que ello implica (Prado, 2015).

Al establecer una plantación se deben considerar varios puntos como lo son: el suelo, localización del sitio, accesibilidad, protección y labores requeridas (Proebsting y Landren, 1985) y sobre todo la selección de la especie ya que de esto dependerá en gran medida el éxito de la plantación. Desafortunadamente, la pérdida de la variación genética junto con las actividades humanas e incendios forestales ha ocasionado una continua disminución de la cobertura de los bosques de pino y pino-encino en México (Sánchez, 2008).

En este sentido, es de interés la conservación de la diversidad genética existente entre poblaciones para la conservación de los recursos genéticos forestales, especialmente porque puede referirse al mantenimiento a largo plazo de la diversidad genética en poblaciones viables (Amaral y Yanchuk, 2007). Para tener un manejo sostenible de la variación genética forestal se

emplean los programas de mejoramiento genético, el cual tiene como objetivo principal, la producción de semilla genéticamente mejorada para el establecimiento de plantaciones forestales (Clausen, 1990). Con los programas de mejoramiento genético se puede obtener árboles de crecimiento rápido, con mejor forma, bien adaptados y resistentes a plagas (Zobel y Talbert, 1988).

Por lo tanto, el medio más confiable para la selección de las especies adecuadas, son los ensayos de especies, los cuales consisten en probar la adaptabilidad que presenta una especie exótica o nativa, o una procedencia en un lugar determinado e incluso su progenie para detectar aquella que sea la más productiva en la región y recomendarla para reforestación y utilizar técnicas como: selección, cruzamiento y pruebas de descendencia en los árboles, para mejorar la calidad de los bosques (Zobel y Talbert, 1988).

En los ensayos de especies y procedencias, generalmente se identifican las especies y procedencias indeseables, mientras que las deseables se pueden usar inmediatamente para plantaciones o para incluirlas en programas adicionales de mejoramiento a nivel de especies y procedencias y más tarde, a nivel familiar e individual (Pedersen *et al.*, 1993).

Lo anterior es de gran importancia para el crecimiento de las plantas, ya que el crecimiento depende del potencial genético expresado a través de su fisiología dentro del medio en que se desarrolla (Klepac, 1976). Los individuos de un bosque presentan diferentes ritmos de crecimiento; algunos individuos son eliminados por el proceso de selección natural o

artificial, por lo que el desarrollo e incremento de un bosque es diferente al incremento y desarrollo de un árbol (Klepac, 1976).

El crecimiento e incremento de los árboles en altura, diámetro, área basal y volumen se originan de la elongación y engrosamiento de las raíces, ramas y troncos, que causan un cambio en el peso, forma y tamaño del árbol. Además, estos crecimientos e incrementos dependen de distintos factores, los cuales son: climáticos, edáficos, fisiográficos y otros, como la densidad, edad y composición del bosque, además de los tratamientos silvícolas aplicados al mismo (Smith *et al.* 1996)

El presente trabajo utiliza el mejoramiento genético forestal para evaluar y determinar, con base en la sobrevivencia y el crecimiento, cuál es la especie de pino más adecuada para establecer reforestaciones en el sureste de Coahuila. Especies como *P. cembroides* Zucc., *P. pinceana* Gordon, *P. nelsonii* Shaw., y *P. halepensis* Mill. de amplia plasticidad genética y ambiental que las hace importantes en proyectos de reforestación o restauración de áreas degradadas. Dichas especies se distribuyen en regiones con clima semiárido del norte de México (Farjon y Styles, 1997) y proporcionan beneficios como la producción de semillas (piñones), además de la madera y la restauración de sitios degradados (Farjon y Styles, 1997).

### **1.1 Objetivos**

Evaluar la sobrevivencia y determinar el crecimiento en altura, diámetro normal y diámetro a la base de *Pinus cembroides*, *Pinus halepensis*, *Pinus*

*nelsonii* y *Pinus pinceana* a 29 años de establecidas en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coahuila.

## **1.2 Hipótesis**

Ho: La sobrevivencia de *Pinus cembroides*, *Pinus halepensis*, *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* es la misma a 29 años de establecidas en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coahuila.

Ho: El crecimiento en altura, diámetro normal y diámetro a la base de *Pinus cembroides*, *Pinus halepensis*, *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* es la misma a 29 años de establecidas en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coahuila.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Mejoramiento genético**

El mejoramiento genético forestal es una herramienta práctica sobre la constitución genética de los árboles forestales, a grandes rasgos, es la combinación de la silvicultura y la genética, tiene la finalidad de producir árboles que estén más cerca a la condición deseada según los intereses del silvicultor (Zobel y Talbert, 1988). Este mejoramiento se logra mediante el control parental combinado con otras actividades de manejo del bosque para lograr mejorar el rendimiento y la calidad de los productos forestales lo más económicamente posible (Zobel y Talbert, 1988).

Dicho mejoramiento depende y consta de la determinación de la especie, la calidad, el tipo y las causas de variación dentro de la especie, así como, las cualidades deseadas y la finalidad de la producción de los individuos mejorados, por lo que, el mejoramiento genético debe formar parte del manejo forestal, ya que por lo general éste se utiliza para alcanzar los objetivos del manejo del bosque (Zobel y Talbert, 1988).

Asimismo, mediante el mejoramiento genético forestal se pretende identificar la magnitud, clases y causas de la variabilidad dentro de las especies, seleccionar aquellas poblaciones e individuos dentro de la

especie con características sobresalientes, agruparlos para que se crucen entre sí y produzcan semilla que genere árboles con características sobresalientes, al igual que los padres que les dieron el origen (Mesén, 1994). Al mismo tiempo, es necesario mantener una reserva de material en su estado natural, a la cual se pueda recurrir en caso de que se necesite introducir nueva variación en la población de mejoramiento. Esto se conoce como conservación de los recursos genéticos forestales (Mesén, 1994).

## **2.2 Ensayo de especies**

Los ensayos de especies consisten en probar la adaptabilidad que presenta una especie exótica o nativa, o una procedencia en un lugar determinado e incluso su progenie para detectar aquella que sea la más productiva en la región y recomendarla para reforestación y utilizar técnicas como: selección, cruzamiento y pruebas de descendencia en los árboles, para mejorar la calidad de los bosques (Zobel y Talbert, 1988).

La selección de especies puede pasar por una serie de etapas que en ocasiones finalizarán en la selección de unas cuantas procedencias de unas pocas especies, apropiadas para los propósitos de plantación y bien adaptadas a las condiciones ambientales del área en cuestión (Pedersen *et al.*, 1993).

Las etapas pueden ser las siguientes: 1) Ensayos de eliminación de especies el cual consiste en probar una gran cantidad de especies (20 a 40) en pequeñas parcelas en uno o pocos sitios por un corto periodo de

tiempo (1/10 a 1/5 de la rotación) para evaluar la sobrevivencia y el crecimiento inicial (Pedersen *et al.*, 1993). Normalmente, se prueban pocas procedencias (2 a 3) de cada especie (Pedersen *et al.*, 1993).

Aunado a lo anterior, la etapa 2) Ensayos de especies (fase de crecimiento), se prueba un número reducido de especies promisorias (5 a 10); se usan parcelas más grandes y mayores periodos de evaluación (1/4 a 1/2 de la rotación) (Pedersen *et al.*, 1993). Por lo general, para la etapa 3, ensayos de procedencias se usa un mayor número de procedencias (3 a 5) por especie, especialmente en especies de amplia variación y distribución natural; y fase de validación, plantaciones piloto, en la cual se confirma la superioridad de las especies seleccionadas en la etapa anterior, bajo condiciones normales de plantación (Pedersen *et al.*, 1993).

### **2.3 *Pinus cembroides* Zucc.**

En México es la especie de más amplia distribución, ya que se extiende por casi todo el norte y centro de la República Mexicana, forma bosques más o menos definidos y caracterizados por el tamaño reducido de las hojas (Rzedowski, 1978). En la Sierra Madre Occidental se encuentra en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango y Aguascalientes y en la Sierra Madre Oriental su distribución se ubica en los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas e Hidalgo (Rzedowski, 1978).

La especie también se localiza en los estados de Baja California y Baja California Sur. En el altiplano mexicano se localiza en los estados de

Zacatecas y San Luis Potosí. También se localiza en Eje Neovolcánico Transversal en los estados de Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Jalisco (Martínez, 1948). Las mayores poblaciones están en Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Hidalgo y Zacatecas. Se localiza entre los 1350 a 2800 msnm (Rzedowski, 1978).

*Pinus cembroides* se desarrolla en laderas de cerros y lomeríos, pendientes secas y rocosas, en el pie de las montañas. A la especie se le encuentra en clima templado seco (Bsk) hasta templado subhúmedo (Cwb) con precipitaciones medias de 365 a 450 mm anuales (máxima de 800 mm) y con presencia de 7 u 8 meses secos. Las temperaturas oscilan entre 7 hasta 40 ° C con promedios de 18 ° C. Es una especie típica de suelos pobres, secos, pedregosos o calizos, grisáceos o negros, calcáreos con alto contenido de yeso (Robert, 1977).

Esta especie se asocia con especies de matorral arbustivo, encinares y pinares de climas semidesérticos, tales como *Yucca carnerosana* (Trel.) McKelvey, *Arbutus xalapensis* Kunth, *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville, *Acacia farnesiana* (L.) Willd., *Agave* sp, *Opuntia* sp, *Juniperus* sp, *Pinus teocote* Schl., y *Pinus arizonica* Engelm., (Martínez, 1948).

El *Pinus cembroides* Zucc., tiene gran importancia debido a que es un recurso del cual el hombre obtiene muchos beneficios, como son construcciones rústicas, combustible, postes para cercas, artesanías, así también la recolección de semillas como fuente de alimento (Passini, 1985).

Los bosques de piñoneros en el sur de Coahuila y áreas aledañas son un elemento ecológico de suma importancia como hábitat de la fauna silvestre e influye marcadamente en el microclima que caracteriza a esta región, además que el árbol tiene la facultad de crecer y desarrollarse en diferentes tipos de suelos y condiciones ecológicas que para otras especies resultan sumamente difíciles de soportar y sobrevivir (Passini, 1985).

Por lo que, *Pinus cembroides* es una especie de importancia económica para la producción de semillas, ya que éstas son de alto valor nutricional, alto porcentaje de grasas y proteínas (Ríos, 2008). Es una especie de amplia plasticidad genética y ambiental y esto la hace importante en proyectos de reforestación o restauración de áreas degradadas (Ríos, 2008).

#### **2.4 *Pinus pinceana* Gordon**

Esta especie tiene un limitado rango de distribución, se presenta en zonas montañosas y colinas áridas donde generalmente no crecen los pinos (Perry, 1991). Se han encontrado en colinas secas y rocosas en montañas de la Sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León, y San Luis Potosí, además de Zacatecas, Hidalgo y Querétaro (Perry, 1991; Santillán *et al.*, 2010). *Pinus pinceana* tiene distribución geográfica restringida en México y en apariencia no constituyen elementos dominantes en los bosques, sino muy localmente (Rzedowski, 1978).

El rango altitudinal donde habita *P. pinceana* varía entre 1500 a 2300 m, la temperatura media de las áreas donde habita *P. pinceana* oscila entre los 17 y los 20 °C y la precipitación se encuentra entre 300 y los 800 mm anuales (Eguiluz, 1978; Perry, 1991). *P. pinceana* presenta cualidades fisiológicas que contribuyen a su resistencia a la sequía, motivo por el cual se ha adaptado a un rango de condiciones de climas semidesérticos, suelos calizos, pedregosos, muy delgados y pobres en materia orgánica (Eguiluz, 1978; Passini, 1985).

*P. pinceana* se asocia principalmente con especies de matorrales desérticos con *Mimosa* sp, también con *Juniperus* sp, *Pinus cembroides*, *Yucca* sp y muy rara vez con *Pinus nelsonii* Shaw; otras veces se asocia con *Quercus crassifolia* H. et B., *Prosopis laevigata* H. et B y *Pinus teocote* Schl. et Cham. (Eguiluz, 1978).

Dicha especie tiene una capacidad productiva baja, en cuanto a madera, sin embargo, produce servicios ambientales como la protección al suelo de la erosión; la regulación del ciclo hidrológico; además de diversos productos como leña, fibras, postes, madera para muebles rústicos, semillas comestibles (piñoneros), entre otros (Universidad Autónoma de Nuevo León, 1985). Puede ser una especie exitosa para programas de reforestación con fines de protección al suelo (Eguiluz, 1978).

## **2.5 *Pinus nelsonii* Shaw**

La distribución de *Pinus nelsonii* se limita a la Sierra Madre Oriental, en zonas áridas o semiáridas (Perry, 1991), generalmente se encuentra a un

intervalo altitudinal de 1800 a 3100 m en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas (Zavarín *et al.*, 1987). Se encuentra en un escenario muy distinguido, forma una zona transicional entre pastizales y matorrales con vegetación xerófila y las montañas húmedas y templadas de mayor altitud (Rzedowski, 1978). *Pinus nelsonii* y otros piñoneros se caracterizan por tolerar las condiciones de climas secos o semisecos (Estrada *et al.*, 2014).

El ambiente asociado a *Pinus nelsonii* es chaparral de montaña, el clima es de tipo BS (seco estepario) y BW (seco desértico), consiste en tormentas en verano, niebla ocasional y en alta elevación, heladas frecuentes, con una precipitación anual de 300 a 600 mm, es susceptible al fuego, a la sequía prolongada, así como a la radiación intensa (Farjon, 1996; Rzedowski, 2006).

Se ha mezclado con diversas especies, destacan las especies leñosas del matorral, sobre todo, género como *Quercus*, *Mahonia*, *Comorostaphylis*, *Brahea* y *Sophora*, así como las especies del género *Yucca*, *Dasyllirion* y también se asocia con *Pinus cembroides*, *Pinus remota* (Little) D. K. Bailey & Hawksw., y *Juniperus* sp. (Farjon, 2017).

Como especie pionera típica, es poco longevo (200-250 años), y debido a la morfología tortuosa del fuste ha sido empleado para la obtención de leña y resina en épocas de mucha demanda (Blanco *et al.*, 1998).

## **2.6 *Pinus halepensis* Mill.**

Es un pino que se encuentra ampliamente distribuido en la región del Mediterráneo. Hay bosques con esta especie en España, Grecia, Israel, Yugoslavia, África del Norte, Costa de Siria y el Líbano. También se ha establecido en Alemania, Australia, y algunas partes de Ucrania (Mirov, 1967). En México es introducido y se encuentra sólo en ciertas áreas del territorio nacional, Coahuila es uno de los estados en el cual se ha plantado esta especie.

*Pinus halepensis* se localiza en colinas y laderas secas y soleadas, desde el nivel del mar hasta cerca de los 1000 metros de altitud (Gualda, 2000). Se adapta a regiones de escasa precipitación, principalmente invernal (Clima mediterráneo), entre 250 mm a 800 mm e inviernos suaves (Beresford, 1968) y una temperatura mínima de 10 ° C (Goor *et al.*, 1976). El área de distribución natural de esta especie incluye zonas semiáridas y territorios con condiciones climáticas y edáficas más favorables (Gil *et al.*, 1996).

En su región de distribución, *Pinus halepensis* se asocia con las siguientes especies: con frondosas, la mezcla más frecuente es con encina (*Quercus rotundifolia* Lam.), alcornoque (*Quercus suber* L.), acebuche (*Olea europaea* L.), y con quejigo (*Quercus faginea* Lam.). Las mezclas con coníferas están muy extendidas: con *Abies pinsapo* Boiss., *Tetraclinis articulata* (Vahl) Masters in J. Roy, Roy. Hort. Soc., *Juniperus thurifera* L., *Juniperus phoenicea* L., y/o *Juniperus oxycedrus* L., *Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Ait., *Pinus nigra* J. F. Arnold y con *Pinus sylvestris* L. (Canillas, 2010).

La función prioritaria de *Pinus halepensis* se basa en una enorme importancia ecológica y medioambiental en el entorno mediterráneo, ya que es altamente resistente al estrés hídrico, restauradora de primera magnitud en zonas semiáridas y un colonizador insustituible en la dinámica evolutiva de la vegetación mediterránea (Orozco *et al.*, 2007).

## **2.7 Estudios realizados**

En un ensayo de especies realizado por Ríos *et al.* (2008) para probar la adaptabilidad de tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. nelsonii* y *P. pinceana*) 19 años después de haber sido plantados en las laderas de la Sierra Madre Oriental, Iturbide, Nuevo León; los autores encontraron que la sobrevivencia fue estadísticamente diferente entre las especies ( $p = 0.0001$ ). Las especies de *Pinus pinceana* (62%) y *Pinus cembroides* (60%) mostraron alta supervivencia y fueron superiores y diferentes a *Pinus nelsonii* (44%).

Lucio (2011) en un estudio realizado en una plantación establecida en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), Arteaga, Coahuila, para evaluar la sobrevivencia en tres procedencias de *Pinus cembroides*, el autor reportó que se encontraron diferencias significativas entre las procedencias de la plantación; con una sobrevivencia promedio de 81.77% de las tres procedencias en la plantación a 17 años 8 meses de establecida.

Domínguez *et al.* (2001) evaluaron un ensayo de especies la adaptación y rendimiento de tres especies de pinos regionales (*Pinus pseudostrobus*

Lindl., *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc.) y dos especies introducidas (*Pinus halepensis* Mill. y *Pinus brutia* Ten.), en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, Nuevo León; los autores encontraron diferencias significativas entre los promedios de altura de las especies, en el cual *P. halepensis* (4.02 m) presentó mayor altura que *P. cembroides* (1.16 m).

En otro estudio realizado por López (2010) en una plantación para determinar el crecimiento en altura de cinco especies de coníferas (*Pinus pinceana* Gordon., *Pinus greggii* Engelm., *Abies vejari* Martínez, *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus ayacahuite* var. *brachyptera* Shaw), en tres localidades de Arteaga, Coahuila; el autor encontró diferencias altamente significativas y de acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias encontró que *P. cembroides* (1.42 m) presentó mayor altura que *P. pinceana* (0.89 m) a 11 años de establecida la plantación.

Por otro lado, Vázquez (2015) en un estudio realizado en una plantación establecida en Buenavista, Saltillo, Coahuila, para evaluar el crecimiento de cinco especies de *Pinus* (*Pinus halepensis* Mill., *Pinus eldarica* Medw., *Pinus pinea* L., *Pinus maximartinezii* Rzedowski y *Pinus cembroides* Zucc.) a 27 años de su establecimiento, el autor encontró que el diámetro a la base promedio para *P. halepensis* (20.4 cm) fue mayor al encontrado para *P. cembroides* que fue de 11.48 cm.

Marroquín *et al.* (2018) en un estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. en dos áreas: Cuauhtémoc y El Recreo, de Saltillo, Coahuila, encontraron que *P. halepensis* presentó un diámetro normal (14.85 cm) promedio mayor al diámetro normal

promedio de *P. cembroides* (8.55 cm) a 22 años de establecidas las plantaciones.

En otro estudio realizado por Montoya *et al.* (2018) en una plantación de *Pinus halepensis* de aproximadamente 40 años en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, que se estableció en varias etapas desde 1960 a 1978, los autores encontraron que *P. halepensis* presentó un diámetro normal promedio de 33.36 cm.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

##### 3.1.1 Ubicación y localización

El área experimental se localiza en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Arteaga, Coah., a una distancia aproximada de 45 km de Saltillo, Coah., entre las coordenadas geográficas 25° 23' a 25° 24' Norte y 100° 36' a 100° 37' Oeste, a una altitud de 2280 msnm (INEGI, 2000).

##### 3.1.2 Fisiografía e hidrología

El CAESA está ubicado dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia fisiográfica Gran Sierra Plegada, dentro de un sistema de topoformas de tipo sierra plegada-flexionada (INEGI, 2000).

El área se encuentra dentro de la región hidrológica Bravo - Conchos (RH24) y la cuenca hidrológica Río Bravo - San Juan (24B) (SPP, 1983). Están presentes dos arroyos intermitentes, uno en la parte Norte y otro en la parte Oeste, que nacen en la parte alta de la Sierra Rancho Nuevo (INEGI, 2000).

### 3.1.3 Geología y edafología

La geología del CAESA está constituida de rocas de origen sedimentario, con depósitos de aluvión (CENETAL, 1976). El suelo predominante es el feozem calcárico y en menor proporción las rendzinas, con una textura fina, que se encuentran en fase petrocálica (CENETAL, 1977).

### 3.1.4 Clima y vegetación

De acuerdo con la estación meteorológica de San Antonio de las Alazanas, Arteaga, Coah., el clima presente en el CAESA es semiárido templado con la siguiente fórmula climática: BS1k(x') (García, 2004). La temperatura media anual oscila entre 12 y 18 ° C, mientras que la temperatura del mes más frío es entre -3 y 18 ° C, y la temperatura del mes más caliente es menor de 22 ° C. Las lluvias son en verano con una precipitación media anual de 410.7 mm y un porcentaje de lluvia invernal mayor al 18% del total anual (CONABIO, 2001).

El tipo de vegetación que se encuentra en el área de estudio es pastizal inducido, en la parte baja (valle) alrededor de la plantación el suelo es de uso agrícola temporal (maíz, avena y frijol) y frutal (manzana), mientras que la vegetación en la parte alta es de bosque de pino y chaparral compuesto principalmente de *Pinus cembroides* (DETENAL, 1979).

## 3.2 Establecimiento del ensayo de especies

El ensayo de adaptación de *Pinus cembroides*, *Pinus pincheana*, *Pinus nelsonii* y *Pinus halepensis* se estableció en el CAESA los días 22, 23 y 24

de junio de 1992. Las procedencias de cada una de las cuatro especies fueron las siguiente: a) Guadalupe Garzarón, Concepción de Oro, Zac. b) Tinajuela, Saltillo, Coah. c) Colonia Agrícola "La Peña" Miquihuana, Tams. y d) Internado-UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., respectivamente.

### 3.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar; con tres bloques, con 48 plantas por especie como unidad experimental, con un total de 576 plantas útiles y 142 plantas de borde. La distribución se hizo en tresbolillo con 1.8 m de espaciamiento, plantándose un total de 718 plantas. La expresión matemática del diseño fue como sigue:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor observado de la variable respuesta de la *i-ésima* especie en el *j-ésimo* bloque

$\mu$  = media general del experimento

$\beta_j$  = efecto del *j-ésimo* bloque

$\tau_i$  = efecto de la *i-ésima* especie

$\epsilon_{ij}$  = error aleatorio

Cuando el análisis de varianza determinó que hubo diferencias estadísticas, entonces se procedió a hacer una comparación de media entre especies con la prueba Tukey al alfa igual a 0.05.

### 3.4 Variables evaluadas

Las variables fueron evaluadas en los años 1992, 1994, 2016 y 2022. Para este último año, las variables se evaluaron del 17 al 19 de junio, por lo tanto, para junio de 2022 el ciclo de crecimiento anual no estaba completo en los árboles, por ello se consideró 29 años como referencia para la estimación de los crecimientos.

#### 3.4.1 Supervivencia

La supervivencia se evaluó con base en el número de plantas establecidas y las plantas encontradas en la última medición. Se consideró de referencia el año de 1992, que fue cuando se levantaron los primeros datos y el año 2022, que correspondió a la última medición a realizar. Por lo que se estimó el porcentaje de supervivencia con base en la siguiente fórmula:

$$\text{supervivencia (\%)} = \frac{\text{No. plantas vivas en unidad experimental}}{\text{Total de individuos plantados por unidad experimental}} * 100$$

#### 3.4.2 Crecimiento en altura total, diámetro a la base y diámetro normal

Para medir la altura total de los árboles de la especie *Pinus halepensis* se usó la pistola Haga debido al tamaño que presentan los individuos de la especie. Para medir la altura de los árboles del resto de las especies se utilizó una pértiga extensible de 12 m de longitud y cuando fue necesario se utilizó una escalera para alcanzar la yema terminal de los árboles.

Los diámetros basales (DB) y normal (DN) se midieron con una forcípula y con una cinta diamétrica, respectivamente. El DB se midió al ras del suelo perpendicular al eje del fuste y el DN a 1.30 m de altura.

La altura inicial y el diámetro basal inicial se midió en 1992. La altura total, el diámetro basal y el diámetro normal final se evaluó en el 2022.

### **3.5 Transformación de variables**

#### 3.5.1 Sobrevivencia

La sobrevivencia en porcentaje estimada en cada unidad experimental se transformó a valores angulares mediante la siguiente fórmula:

$$\text{arcoseno} = \sqrt{x/100}$$

Dónde:

x = Sobrevivencia (%)

#### 3.5.2 Crecimiento relativo

Se calcularon los crecimientos relativos en altura total (CRA), así como en diámetro basal (CRDB) y en diámetro normal (CRDN), con la finalidad de comparar los tamaños de los árboles de la última medición en el año 2022 con respecto al tamaño de la primera medición en el año 1992. Estos crecimientos se calcularon con base a la fórmula de Hunt, 1990 misma que se describe a continuación:

$$\text{CRA} = ((\text{LnAf} - \text{LnAi}) / (\text{Tf} - \text{Ti}))$$

Dónde:

CRA = Crecimiento relativo en altura

Ln = Logaritmo natural; Af = Altura final; Ai = Altura inicial

Tf = Tiempo final (2022); Ti = Tiempo inicial (1992)

De la misma manera se calcularon los valores para el CRDB y CRDN.

Esta comparación se realizó dado que, son arboles que en la actualidad tiene alturas mayores a las que tenían en el año en que se realizó la plantación. Por lo tanto, para tener una igualdad en cuanto al tamaño de los árboles, se realizó dicha transformación logarítmica.

### **3.6 Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0. La base de datos de la información dasométrica de las plantas se capturó en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Se utilizó el PROC ANOVA del SAS (Anexo 1) y cuando se encontraron diferencias al  $\alpha = 0.05$  se hizo una prueba de Tukey para la comparación de medias de (Anexo 2).

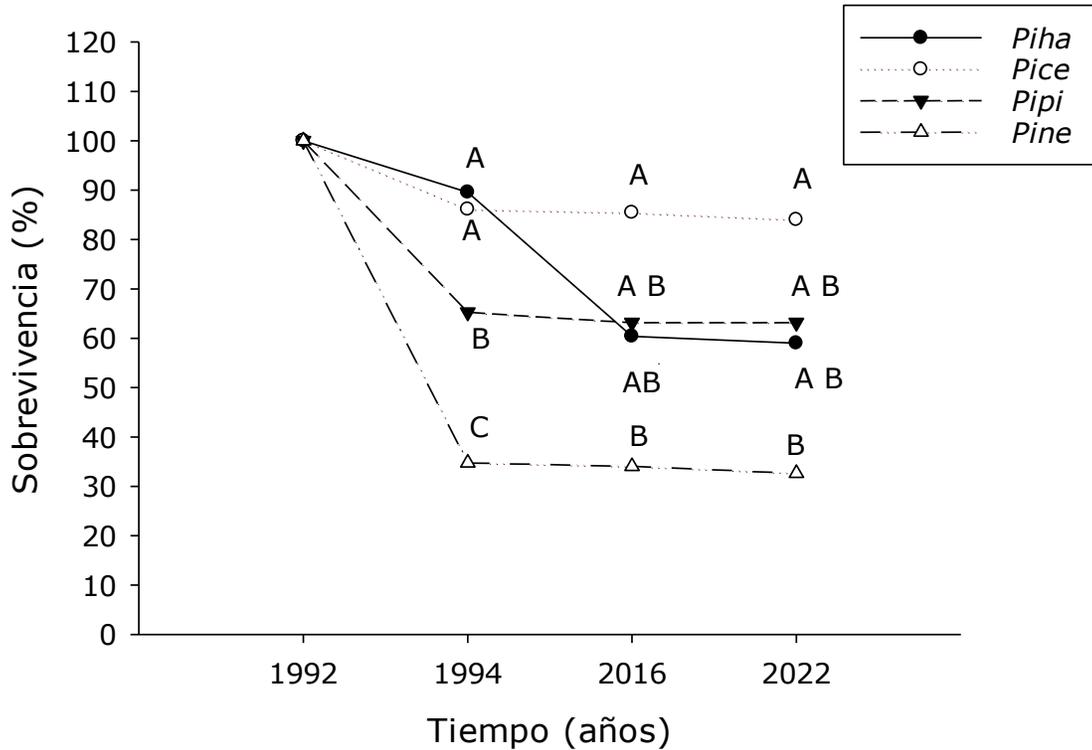
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Supervivencia

El análisis de varianza para la variable supervivencia encontró diferencias altamente significativas entre especies en los tres años evaluados 1994 ( $p = <0.001$ ), 2016 ( $p = 0.0090$ ) y 2022 ( $p = 0.0051$ ).

La prueba Tukey de comparación de medias para la supervivencia en 1994 encontró que los valores de supervivencia de *Pinus halepensis* (89.58%) y *Pinus cembroides* (86.1%) fueron significativamente diferentes y mayores a los valores de supervivencia de *Pinus pinceana* (65.3%) y *Pinus nelsonii* (34.7%) (Figura 1). En el año 2016, la prueba de comparación de medias de Tukey encontró diferencias significativas entre la supervivencia de *Pinus cembroides* (85.4%) y la de *P. nelsonii* (34.03%) (Figura 1).

Cabe señalar que la supervivencia de *Pinus halepensis* disminuyó casi un 30% en 2016. Las diferencias encontradas en 2016 se mantuvieron para la última evaluación realizada en 2022 (Figura 1). *Pinus cembroides* tuvo la más alta supervivencia (84%) y *Pinus nelsonii* (33%) la más baja supervivencia, en tanto que las otras dos especies, *Pinus halepensis* y *Pinus pinceana* (59 y 63.2 %, respectivamente) tuvieron valores intermedios de supervivencia (Figura 1).



Valores medios con las mismas letras no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) como la determina la comparación de medias de Tukey.

Figura 1. Valores medios de sobrevivencia (%) en tres años en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga.

En un estudio llevado a cabo en un ensayo de tres procedencias de *Pinus pinceana* en tres localidades del norte de México, Ramírez (2008) encontró una sobrevivencia promedio general para *P. pinceana* de 87.8% a 16 meses de edad de la plantación, que comparado con este estudio *P. pinceana* presentó una sobrevivencia promedio menor de 63.89 % a la reportada por el citado autor.

Lo anterior se puede deber, a la diferencia de edades en las que fueron evaluadas los ensayos, ya que hay una diferencia de 16 años entre la evaluación de este estudio a la de Ramírez (2008) y solamente tenía un año cuando fue evaluada por el citado autor (Cuadro 1). Además, esta diferencia se puede deber, a las diferencias de las condiciones ambientales entre los sitios en donde fueron establecidos los estudios.

En un ensayo de especies realizado por Ríos *et al.* (2008) para probar la adaptabilidad de tres especies de pino (*P. cembroides*, *P. nelsonii* y *P. pinceana*) 19 años después de haber sido plantados en las laderas de la Sierra Madre Oriental en Iturbide Nuevo León; los autores encontraron que la sobrevivencia fue estadísticamente diferente entre las especies ( $P=0.0001$ ). Las especies de *Pinus pinceana* (62%) y *Pinus cembroides* (60%) mostraron supervivencias altas y estadísticamente diferentes a *Pinus nelsonii* (44%).

La sobrevivencia en este estudio para *P. cembroides* (85.1%) y *P. pinceana* (63.8%) fue mayor a lo reportado por Ríos *et al.* (2008) para esas especies, pero la sobrevivencia de *P. nelsonii* (33.78%) fue menor. Esta diferencia se puede deber a la aclimatación de las especies derivado, seguramente, de las diferentes condiciones, como el tipo de suelo, altitud y precipitación, que se presentan en los sitios en las que fueron plantadas, así como a la preparación del sitio y la calidad de la planta de cada estudio. Pese a que el sitio de plantación de Ríos *et al.* (2008) presenta mejores condiciones de precipitación y temperatura (Cuadro 1).

En un ensayo de adaptación de procedencias de *Pinus pinceana* en el ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah., Cárdenas (2010) no encontró

Cuadro 1. Supervivencia (%) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de supervivencia (%) en tres años en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Autor (Año)	EE (años)	Supervivencia (%)	Ubicación (coordenadas LN-LW)	Altitud (msnm)	P (%) (E)	Suelo	Clima
Evaluación 1994 Evaluación 2016 Evaluación 2022	29	<i>Pi pi</i> (64) <i>Pi ce</i> (85) <i>Pi ha</i> (70) <i>Pi ne</i> (34)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentari o. Feozem calcárico y rendzina.	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una PMA de 410 mm.

Ramírez (2008)	1	<i>Pi pi</i> (87.8)	<p>1) Los Lirios, Arteaga, Coah. (25° 23' 16" y 100° 36' 10")</p> <p>2) Ejido Jaguey de Fermiza, Saltillo, Coah. (25° 14' 47" y 100° 02' 17") y</p> <p>3) Ejido San José Carbonerillas, Mazapil, Zac. (24°28'19" y 100° 26' 53").</p>	<p>1)2270</p> <p>2)2100</p> <p>3)2090</p>	<p>1) Calcarios y Redinas</p> <p>2) Benzina y háplico.</p> <p>3) Háplico</p>	<p>1) Templado Cb (X') (Wo)(e) g, con una TMA de 15° y una PMA 418mm.</p> <p>2) Seco BS K x' (e), con una TMA de 17. 8° y una PMA de 396mm y</p> <p>3) Seco (BW k x' (e)), con una TMA de 16. 5° C y una PMA de 455mm.</p>	
Ríos <i>et al.</i> (2008)	19	<i>Pi pi</i> (62) <i>Pi ce</i> (60) <i>Pi ne</i> (44)	Sta. Rosa, Iturbide, N.L. (24° 43' y 99° 52").	1550	30-70	<p>Lutitas y calizas de Cretácico Superior, junto con depositos sedimentarios recientes.</p>	<p>Templado subhúmedo (Cw) con una TPA de 17° C y una PPA de 600 mm.</p>

Cárdenas (2010)	1	<i>Pi ha</i> (75)	Ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coahuila (25° 15' 13.70" y 100° 13' 01.68").	1840		Tipo Castañozem haplico y álcico, así como xerosol haplico y cálcico	Semiseco templado (BS1 kx') con una TMA de 18 a 22° C y una PMA de 450 a 550 mm.
Lucio (2011)	18	<i>Pi ce</i> (82)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36').	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentari o. Feozem calcárico y rendzina.	Templado (Cb(X')(Wo)(e)g), con una TMA de 13.6° C y una PMA de 521.2 mm.
Gómez et al. (2012)	6	<i>Pi ce</i> (81)	Ejido Atécuaro, Morelia, Michoacán. (19° 33' 05" y 101° 05' 07").	2275	5-30	Dominado por acrisoles (acrisol ócrico).	Subhúmedo con una TMA de 13.1° C y una PMA de 1000 mm.
García (2014)	16	<i>Pi pi</i> (61) <i>Pi ce</i> (79)	Mesa de las Tablas (25° 15' 14" y 100° 25' 20"), El Hondable (25° 16' 46' y 100°	2560	40	Rocas de origen sedimentari o. Litosoles y Rendzinas, en menor	Templado subhúmedo (Cb(x')wo(e)g, con una TMA de

López (2016)	1	<i>Pi ce</i> (74)	26' 32") y El Zorrillo (25° 17' 52" y 100° 26' 21"), Sierra de Arteaga, Coahuila.	1840	proporción 13.3° C y una Regozoles y PMA de 498 mm. Feozem.
			Ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coahuila (25° 15' 11" y 100° 13' 05").		Rocas Sedimentari Semiseco (BS1 Kw) con una as. Domina TMA de 12° C a el suelo tipo 18° C y con una Rendzina. PMA de 400 mm.

EE= edad de evaluación; LN=latitud norte; LW= longitud oeste; P= pendiente; E= exposición.

diferencias significativas entre procedencias, el porcentaje promedio de sobrevivencia que encontró fue de 75.21%, al año de establecida la plantación, dicho valor de sobrevivencia es mayor a la sobrevivencia promedio registrada en este estudio.

Es relevante destacar que la diferencia de sobrevivencia en el presente trabajo y el de Cárdenas (2010), se puede deber, principalmente, por la diferencia de edades a las que fueron evaluados los ensayos, además, otra diferencia de sobrevivencia e ambos trabajos, se puede deber, seguramente, a la preparación del sitio y la calidad de la planta de cada uno de los estudios; así como a la diferencia de las condiciones de precipitación del área donde se establecieron los ensayos (Cuadro 1).

La precipitación media anual registrada en el CAESA es de 410 mm; en contraste, la precipitación en el ejido San Juan de la Vaquería es 450 a 550 mm, por lo que la precipitación en el CAESA es ligeramente menor a la prevaleciente en el ejido San Juan de la Vaquería, en consecuencia, dicha discrepancia en esas precipitaciones pudo haber contribuido a la diferencia de sobrevivencia registrada entre el presente trabajo y el estudio de Cárdenas (2010) (Cuadro 1).

Lucio (2011) en un estudio realizado en una plantación establecida en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga (CAESA), Arteaga, Coahuila, para evaluar la sobrevivencia en tres procedencias de *Pinus cembroides*, el autor reportó que se encontraron diferencias significativas entre las procedencias de la plantación; con una sobrevivencia promedio de 81.77% de las tres procedencias en la plantación a 17 años 8 meses de

establecida, la cual fue ligeramente menor el valor promedio de sobrevivencia que presentó *Pinus cembroides* (85.1%) en este trabajo.

Cabe señalar que ambas plantaciones, este estudio y el de Lucio (2011) tienen la misma edad y se encuentran contiguas en el CAESA. Pese a ello, la sobrevivencia del presente estudio fue ligeramente mayor a la sobrevivencia reportada por Lucio (2011). De acuerdo con lo anterior es importante señalar que la diferencia de sobrevivencia entre estudios se debe atribuir a la diferencia en el tiempo en la que se realizó la evaluación de los ensayos, ya que hay una diferencia de edad de 12 años de la evaluación realizada por Lucio (2011) con la evaluación de este estudio (Cuadro 1).

Por otro lado, Gómez *et al.* (2012) en un estudio de especies de pino (*Pinus cembroides*, *P. greggii*, *P. devoniana* Lindl. y *P. pseudostrobus* Lindl.), para restaurar sitios severamente erosionados con presencia de cárcavas en Atécuaro, Morelia, Michoacán, los autores reportaron una sobrevivencia de *Pinus cembroides* de 81 %. Los valores de sobrevivencia en este estudio fueron ligeramente mayores a los valores reportados por los citados autores.

Lo anterior se atribuye, seguramente, a la diferencia de edades a la que fueron evaluados los ensayos, ya que hay una diferencia de 11 años de edad con respecto a la edad que tenía la plantación cuando Gómez *et al.* (2012) la evaluaron (Cuadro 1). Además, esa diferencia también se debe, seguramente, a las condiciones de precipitación del área donde se establecieron los ensayos. La precipitación media anual registrada en el

ejido Atécuaro es de 1000 mm; mientras en el CAESA es de 410 mm, por lo que esas precipitaciones pudieron haber contribuido a la diferencia de sobrevivencia registrada entre el presente trabajo y el estudio de Gómez *et al.* (2012) (Cuadro 1).

En el estudio de adaptación realizado por García (2014) en una plantación para determinar la sobrevivencia de cinco especies de coníferas (*Pinus pinceana*, *Pinus greggii*, *Abies vejari*, *Pinus cembroides* y *Pinus ayacahuite var. Brachyptera*), el autor reportó que, si hubo diferencias entre especies, en el cual *Pinus cembroides* presentó más alta sobrevivencia (79.26%) que *Pinus pinceana* (60.89%).

Los valores de sobrevivencia en este estudio para *P. cembroides* (85.1%) y *P. pinceana* (63.9%) fueron mayores a los reportados por García (2014). Lo anterior se atribuye a la diferencia de edades en las que se realizó la evaluación de dichos ensayos, así como las ligeras diferencias ambientales, como la precipitación media anual y la pendiente, ya que en el CAESA ocurre menor precipitación y menor pendiente a las reportadas por García (2014) del sitio donde realizó el estudio (Cuadro 1).

En una plantación de *Pinus cembroides* sujeta a la aplicación de lodos orgánicos o biosólidos en el Ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coah., López (2016) reportó un promedio general de sobrevivencia de 74.07%. La sobrevivencia en el presente estudio fue mayor a la reportada por el autor citado, esto se puede deber a las edades a las que fueron evaluados los ensayos, ya que hay una diferencia de seis años en la edad en la que fue evaluado el ensayo por el citado autor (Cuadro 1).

## 4.2 Altura

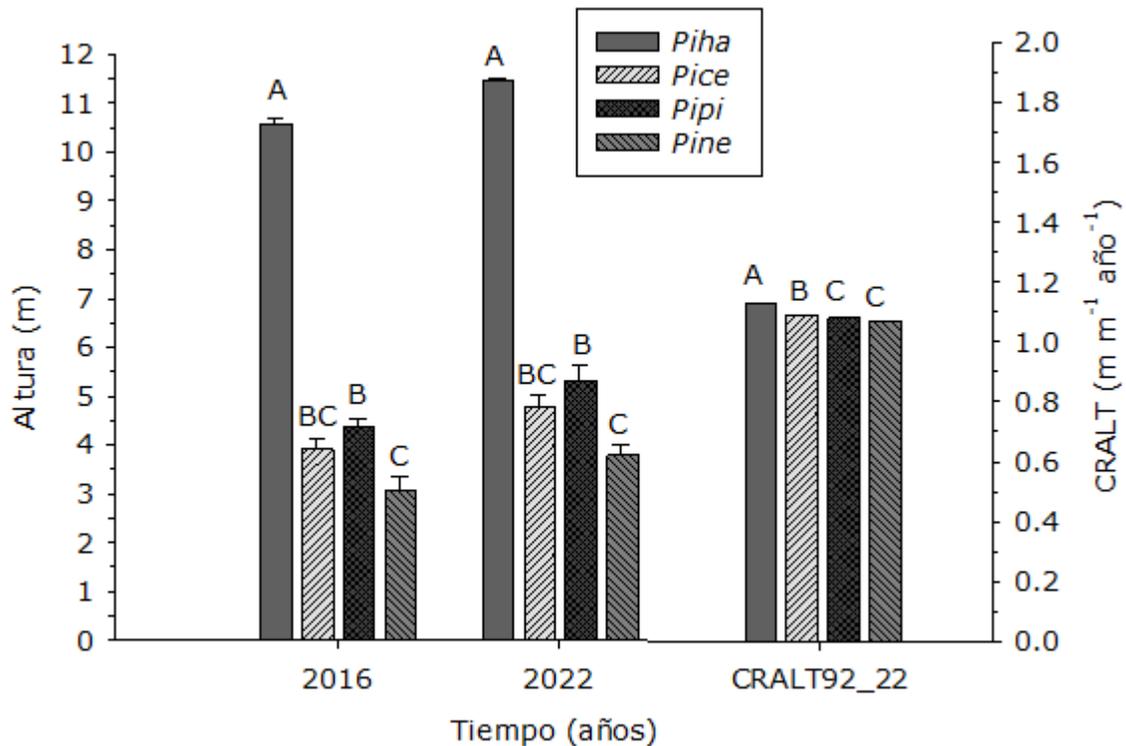
El análisis de varianza para la variable altura encontró diferencias significativas entre especies en 2016 ( $p = 0.0001$ ) y en 2022 ( $p = 0.0001$ ), además, para el crecimiento relativo en altura para los años del 92-22 ( $p = 0.0001$ ).

De acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias para altura, encontró que en el año de 2016 los valores de *P. halepensis* (10.56 m) fueron significativamente diferentes y mayores a los valores de altura de *P. pinceana* (4.35 m), *P. cembroides* (3.91 m) y *P. nelsonii* (3.08 m) (Figura 2).

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la prueba Tukey de comparación de medias para la altura en 2022, se encontró que las diferencias de altura para esta evaluación fueron similares a las reportadas en el 2016 (Figura 2). *P. halepensis* tuvo la altura más alta (11.44 m) y *P. nelsonii* presentó la altura más baja (3.78 m), por lo que las otras dos especies, *P. cembroides* y *P. pinceana* (4.78 y 5.32 m, respectivamente) tuvieron valores intermedios en altura (Figura 2).

Con relación al crecimiento relativo en altura 1992-2022 (CRALT92-22) la prueba Tukey de comparación de medias encontró que *P. halepensis* ( $1.13 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) tuvo valores más altos y diferente a las otras tres especies (Figura 2). Mientras que *P. cembroides* ( $1.09 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) tuvo valores intermedios y también diferente a las otras tres especies. En contraste, *P. pinceana* ( $1.08 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y *P. nelsonii* ( $1.07 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) tuvieron

los valores más bajos de CRALT92-22 y no hubo diferencias entre estas dos últimas especies (Figura 2).



Valores medios con las mismas letras no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) como la determina la prueba Tukey de comparación de medias

Figura 2. Valores medios de altura (m) para el año 2016 y 2022, y crecimiento relativo en altura (CRALT; m m<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) de los años del 92-22 en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pincea* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

.

Domínguez *et al.* (2001) en un ensayo de especies para evaluar la adaptación y rendimiento de tres especies de pinos regionales (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus greggii* y *Pinus cembroides*) y dos especies

introducidas (*Pinus halepensis* y *Pinus brutia*), en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, Nuevo León; los autores encontraron diferencias significativas entre los promedios de altura de las especies, en el cual, *P. halepensis* (4.02 m) presentó mayor altura que *P. cembroides* (1.16 m).

En el presente trabajo se registraron mayores alturas promedio para *P. halepensis* (11 m) y *P. cembroides* (4.35 m), con respecto a lo reportado por Domínguez *et al.* (2001), pero dado que se presenta una diferencia de edad de 23 años desde la última evaluación de ambos estudios, se realizó un promedio de crecimiento en altura por año para cada especie, en la cual se encontró que en el estudio de Domínguez *et al.* (2001), *Pinus halepensis* tuvo un crecimiento promedio por año de 0.45 m y *Pinus cembroides* tuvo un crecimiento promedio por año de 0.13.

De acuerdo con lo anterior, en este estudio *Pinus halepensis* presentó una altura promedio por año mayor a la reportada por Domínguez *et al.* (2001)., mientras que *Pinus cembroides* presentó una altura promedio por año ligeramente menor a la reportada por el citado autor.

Esa diferencia se debe, seguramente, a las distintas condiciones edafológicas y topográficas que influyen en la calidad del sitio (Cuadro 2). Dicha calidad de sitio está relacionada con las condiciones de suelo, principalmente, con la profundidad de suelo, ya que a mayor profundidad de suelo se presenta mayor altura (Franco *et al.*, 2003). En este estudio los factores que influyen son el tipo de suelo y la profundidad.

Cuadro 2. Altura (m) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios altura (m) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Autor (Año)	EE (años)	Altura (m)	Ubicación (coordenadas LN-LW)	Altitud (msnm)	P (%) (E)	Suelo	Clima	Esp. (m)
Evaluación 2016 Evaluación 2022	24 29	<i>Pi pi</i> (4.8) <i>Pi ce</i> (4.4) <i>Pi ha</i> (11) <i>Pi ne</i> (3.4)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario. Feozem calcárico rendzina.	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una PMA de 410 mm.	1.8 x 1.8
Domínguez et al. (2001)	9	<i>Pi ce</i> (1.16) <i>Pi ha</i> (4.02)	El Durazno, Iturbide, Nuevo León. (24° 43' 50'y 99° 53' 00").	1400	10	Formaciones sedimentarias. Litosol, rendzina regosol calcáreo.	Seco (BS1hw'' (x') (e), con una TPA de 18° C y una PPA de 580 mm.	2 x 2

López (2010)	11	<i>Pi pi</i> (0.89) <i>Pi ce</i> (1.42)	Mesa de las tablas (25° 15' 17" y 100° 25' 20"), El Hondable (25° 16' 47" y 100° 26' 31") y El Zorrillo (25° 17' 55" y 100° 26' 22") Sierra de Arteaga, Coahuila.	2479	25-30	Rocas de origen sedimentario. Litosoles y Rendzinas, en menor proporción Regozoles y Feozem.	Templado subhúmedo (Cw) con una TMA de 12.7° C y una PMA de 470 mm.	
Lucio (2011)	19	<i>Pi ce</i> (2.56)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36').	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario. Feozem calcárico y rendzina.	Templado (Cb(X')(Wo) (e)g), con una TMA de 13.6° C y una PMA de 521.2 mm.	1.8 x 1.8
Gómez <i>et al.</i> (2012)	6	<i>Pi ce</i> (0.76)	Ejido Atécuaro, Morelia, Michoacán. (19° 33' 05" y 101° 05' 07").	2275	5-30	Dominado por acrisoles (acrisol ócrico).	Subhúmedo con una TMA de 13.1° C y una PMA de 1000 mm.	3 x 3

García (2014)	16	<i>Pi pi</i> (1.02) <i>Pi ce</i> (1.86)	Mesa de las tablas (25° 15' 14" y 100° 25' 20"), El Hondable (25° 16' 46" y 100° 26' 32") y El Zorrillo (25° 17' 52" y 100° 26' 21"), Sierra de Arteaga, Coahuila.	2560	40	Rocas de origen Templado sedimentario. subhúmedo Litosoles y (Cb(x')) Rendzinas, en wo(e)g, con menor proporción Regozoles y Feozem.	una TMA de 13.3° C y una PMA de 498 mm.	
López (2016)	1	<i>Pi ce</i> (0.64)	Ejido San Juan de la Vaquería, Saltillo, Coahuila (25° 15' 11" y 100° 13' 05").	1840	10	Rocas sedimentarias. Domina el suelo tipo Rendzina.	Semiseco (BS1 Kw) con una TMA de 12° C a 18° C y con una PMA de 400 mm.	4 x 4

---

EE= edad de evaluación; LN=latitud norte; LW= longitud oeste; P= pendiente; E= exposición; Esp. = espaciamiento.

El ejido El Durazno presenta un tipo de suelo litosol, rendzina y regosol calcáreo, con una profundidad de los 20 cm (Domínguez *et al.*, 2001);

En otro estudio realizado por López (2010) en una plantación para determinar el crecimiento en altura de cinco especies de coníferas (*Pinus pinceana*, *Pinus greggii*, *Abies vejari*, *Pinus cembroides* y *Pinus ayacahuite var. brachyptera*), en tres localidades de Arteaga, Coahuila; el autor encontró diferencias altamente significativas y de acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias encontró que *P. cembroides* (1.42 m) presentó mayor altura que *P. pinceana* (0.89 m) a 11 años de establecida la plantación.

Los valores de altura en este estudio fueron superiores a los valores reportados por López (2010). Además, se calculó un promedio de crecimiento en altura por año para ambos estudios, en el cual se encontró que, para el estudio realizado por López (2010), *Pinus pinceana* (0.08 m) y *Pinus cembroides* (0.13 m) tuvieron un crecimiento promedio por año menor al crecimiento promedio para *Pinus pinceana* (0.17 m) y *Pinus cembroides* (0.15) encontrados para este estudio.

Lo anterior se debe, principalmente, a la diferencia de edades en las que fueron evaluados los ensayos, ya que hay una diferencia de 13 años desde la última evaluación de este estudio en el año 2022, con la última evaluación de López (2010) en el año 2009 (Cuadro 2).

Además, esta diferencia también se le puede deber a las diferentes condiciones edafológicas donde se establecieron los ensayos, ya que en el

CAESA ocurre un suelo poco profundo con pendiente del 4%, en contraste en la Sierra de Arteaga ocurre un suelo poco profundo y una pendiente del 25-30 % (Cuadro 2). Ambos estudios presentan valores de altitud, temperatura y precipitación similares entre sí.

Lucio (2011) en el estudio realizado en el CAESA, Arteaga, Coahuila, reportó que de acuerdo con el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0034$ ) y la altura promedio fue de 2.56 m de las tres procedencias, a 17 años 8 meses de establecida la plantación, la cual fue menor al valor promedio de altura que se presentó en este estudio.

Dado que la última evaluación de ambos estudios no fue realizada a la misma edad, se decidió hacer una comparación de crecimiento en altura por año, en la cual se encontró que en el estudio realizado por Lucio (2011), *Pinus cembroides* presentó una altura promedio menor a la encontrada en este estudio.

Lo anterior se debe, principalmente, a la diferencia en el tiempo en la que se realizó la evaluación de los ensayos, ya que hay una diferencia de edad de 12 años desde la última evaluación de este estudio en el año 2022, con la última evaluación realizada por Lucio (2011) en el año 2010 (Cuadro 2). Es importante mencionar que ambas plantaciones, este estudio y Lucio (2011) tienen la misma edad y se encuentran contiguas en el CAESA y a pesar de esto *P. cembroides* presentó mejor aclimatación en nuestro estudio y por ende mayor altura (Cuadro 2).

Gómez *et al.* (2012) reportaron que *P. cembroides* presentó una altura de 0.76 m a los 6 años de establecida la plantación. El valor promedio de altura reportado por los autores es menor al registrado en el presente estudio. Cabe mencionar que para tener una mejor comparación en cuanto al crecimiento en altura de *P. cembroides*, se calculó el crecimiento en altura por año para ambos estudios, ya que, en dichos estudios la última evaluación no fue realizada a la misma edad. De acuerdo con lo anterior, en este estudio *P. cembroides* (0.17 m) presentó un crecimiento en altura por año mayor al encontrado en el estudio de Gómez *et al.* (2012).

Lo anterior se atribuye, seguramente, a la diferencia de edades a la que fueron evaluados los ensayos, ya que hay una diferencia de 11 años de edad desde la última evaluación realizada para este estudio en el año 2022, con respecto a la edad que tenía la plantación cuando Gómez *et al.* (2012) la evaluó en el año 2011 (Cuadro 2).

Además, también se le puede atribuir a las condiciones edafológicas donde se establecieron los ensayos, ya que en el CAESA ocurre un suelo poco profundo de tipo feozem calcárico y rendzina (CETENAL, 1977), con pendiente del 4%, en contraste en el municipio de Atécuaro ocurre un suelo poco profundo de tipo acrisol ócrico, severamente erosionados con presencia de cárcavas y una pendiente del 5 al 30% (Gómez *et al.*, 2012) (Cuadro 2).

De acuerdo con las condiciones anteriores, se podría decir que el ensayo establecido en el CAESA tenga mejor aclimatación en comparación con el

estudio establecido en el municipio de Atécuaro, pese a que el sitio de plantación de Gómez *et al.* (2012) presenta mejor condición de precipitación (Cuadro 2).

García (2014) encontró diferencias altamente significativas entre especies y en la prueba Tukey de comparación de medias, *P. cembroides* (1.86 m) presentó mayor altura que *P. pinceana* (1.02 m). De acuerdo con los resultados antes mencionados y en comparación con los resultados en este estudio, los valores de altura para *P. cembroides* y *P. pinceana* fueron mayores a los reportados por García (2014).

Asimismo, se calculó el crecimiento en altura promedio por año para ambos estudios, con la finalidad de tener una mejor comparación en cuanto al crecimiento en altura. Se encontró que para el estudio de García (2014), los valores de crecimiento en altura fueron menores tanto para *P. pinceana* y *P. cembroides* en comparación con los valores de crecimiento en altura encontrados en este estudio.

Lo anterior se debe en gran medida la diferencia de edades en las que se realizó la evaluación de los ensayos, dado que la última evaluación realizada por García (2014) fue en el año 2014 cuando la plantación tenía 16 años de establecida y en este estudio la última evaluación fue en el año 2022, cuando la plantación tenía 29 años de establecida (Cuadro 2).

Asimismo, esta diferencia se puede deber a la diferencia de calidad de sitio en la que fueron establecidos los ensayos. La calidad de sitio está relacionada con factores ambientales, tales como la profundidad del

suelo, textura, características de sus perfiles, pendiente, precipitación media anual y temperatura media anual, entre otros (Daniel *et al.*, 1982).

De acuerdo con lo anterior, los principales factores que, posiblemente, se atribuyen las diferencias presentadas en ambos estudios, son la pendiente y el tipo de suelo, ya que, ambos estudios presentan suelos poco profundos. En el ensayo establecido en la Sierra de Arteaga existe un suelo litosol y rendzina, poco erosionado y una pendiente del 40 % García (2014), y en el CAESA existe un suelo de tipo feozem calcárico (CETENAL, 1977) con una pendiente del 4 % (Cuadro 2).

Por otra parte, López (2016) encontró una altura total para *P. cembroides* de 0.64 m, al año de establecida la plantación. La altura total promedio reportada en este estudio es mayor a la reportada por el citado autor a 29 años de establecida la plantación (Cuadro 2).

Puesto que hay una diferencia de 28 años desde la última evaluación realizada en ambos estudios, se calculó el crecimiento en altura por año para cada uno de los estudios, con el objetivo de tener una mejor comparación en cuanto al crecimiento de dicha especie. En el estudio realizado por López (2016) *P. cembroides* presentó un crecimiento en altura por año mayor al encontrado en este estudio.

Estas diferencias se pueden deber en gran medida a que hay una diferencia de seis años en la edad a la que fue evaluado el ensayo por López (2016) en el año 2016 y la última evaluación realizada en este estudio en el año 2022 (Cuadro 2).

Además, esta diferencia también se le puede deber a las diferentes condiciones del sitio donde se establecieron los ensayos, como el tipo de suelo, profundidad de suelo, altitud y pendiente, ya que en el CAESA ocurre un tipo de suelo feozem calcárico y rendzina (CETENAL, 1977) poco profundo con pendiente del 4% y una altitud de 2280 msnm, en contraste en el ejido San Juan de la Vaquería ocurre un suelo de tipo rendzina poco profundo con una pendiente del 10% y una altitud de 1840 msnm (Cuadro 2).

Los valores promedio en altura encontrados en este estudio se diferencian con los valores encontrados por los diferentes autores, en gran medida, por la diferencia de edades a las que fueron evaluados los ensayos (Domínguez *et al.*, 2001; López, 2010; Lucio, 2011, Gómez *et al.*, 2012; García, 2014; López, 2016); sin embargo, en otros casos la diferencia, se puede deber, en gran parte, a las condiciones climáticas y edafológicas del sitio o la densidad de plantación y el manejo de la plantación (Domínguez *et al.*, 2001; López, 2010; Gómez *et al.*, 2012; García, 2014; López, 2016).

Dichas condiciones climáticas y edafológicas como la altitud, la exposición, textura del suelo, temperatura, precipitación y sobrevivencia de los árboles vecinos (Wabo, 2002) pueden impactar en el crecimiento y desarrollo de los árboles. El manejo y la densidad de la plantación, influye directamente en la variable altura, ya que, a mayor densidad de plantación, existe una mayor competencia por luz, en consecuencia, los individuos tienden a desarrollar mayor altura (Rozas, 2004).

## Crecimiento relativo en altura

En cuanto al crecimiento relativo en altura (CRTA) en un estudio realizado en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* establecido en el CAESA, Arteaga, Coahuila para evaluar el CRTA, Cornejo *et al.* (2005) encontraron diferencias altamente significativas ( $p = 0.01$ ) entre las procedencias y mediante la prueba Tukey de comparación de medias encontraron un CRTA promedio de  $0.34 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de las tres procedencias y en los tres años evaluados. Dicho crecimiento relativo se basa en el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo y suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies (Villar *et al.*, 2004).

Los resultados descritos anteriormente, son menores a los valores de crecimiento relativo en altura promedio reportados en este estudio (Cuadro 3). Lo anterior, se puede deber, posiblemente, a la diferencia de edades en la que fueron evaluados ambos estudios, ya que la última evaluación realizada en el estudio de Cornejo *et al.* (2005) fue cuando la plantación tenía 12.6 años, en contraste en este estudio la última evaluación realizada fue a los 29 años de establecida la plantación (Cuadro 3). El desempeño de las plantas se incrementa a través de adaptaciones morfológicas y fisiológicas cuando están en diferentes ambientes (Villar *et al.*, 2004).

Es importante mencionar que ambas plantaciones, este estudio y Cornejo *et al.* (2005) tienen la misma edad y se establecieron en el CAESA y a pesar de esto las cuatro especies en este estudio (*P. halepensis*, *P.*

Cuadro 3. Crecimiento relativo en altura ( $m m^{-1} año^{-1}$ ) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios Crecimiento relativo en altura (CRALT) ( $m m^{-1} año^{-1}$ ) de los años del 92-22, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Autor (Año)	EE (años)	CRALT ( $m m^{-1} año^{-1}$ )	Ubicación (coordenadas LN-LW)	Altitud (msnm)	P (%) (E)	Suelo	Clima	Esp. (m)
Evaluación 2016 Evaluación 2022	24 29	<i>Pinus halepensis</i> Mill. (1.13) <i>Pinus cembroides</i> Zucc. (1.09) <i>Pinus pinceana</i> Gordon (1.08) <i>Pinus nelsonii</i> Shaw (1.07)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario. Feozem calcárico y rendzina.	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una PMA de 410 mm.	1.8 x 1.8
Cornejo et al. (2005)	13	<i>Pinus greggii</i> Engelm (0.34)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 23' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario. Feozem	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una	1.8 x 1.8

						calcárico y rendzina.	PMA de 410.7 mm.	
De la Piedra et al. (2006).	11.5	<i>Pinus greggii</i> Engelm (1.26)	Los Tarihuanes, Arteaga, Coahuila (25° 22' 13" y 100° 36' 22")	2400	16 (S)	Rocas de origen sedimenta rio. Feozem calcárico y rendzina asociadas con litosoles.	Templado (Cb(x')(e')g), con una TMA de 12.9°C y una PMA de 428.6 mm.	3 x 3
Cornejo et al. (2019)	25	<i>Pinus cembroides</i> Zucc. (1.09)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 23' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimenta rio. Feozem calcárico y rendzina.	Templado (Cb(x')(Wo)(e )g), con una TMA de 13.6°C y una PMA de 521.2 mm.	1.8 x 1.8

EE= edad de evaluación; LN=latitud norte; LW= longitud oeste; P= pendiente; E= exposición; Esp. = espaciamento.

*cembroides*, *P. pinceana* y *P. nelsonii*) presentaron mejor crecimiento relativo en altura en comparación de *P. greggii* en el estudio de Cornejo *et al.* (2005) (Cuadro 3).

De la Piedra *et al.* (2006) en un estudio realizado en un ensayo de progenie de *Pinus greggii* establecido en Los Tarihuanes, Arteaga, Coah., para determinar el crecimiento relativo en altura total, los autores encontraron diferencias altamente significativas para el CRA ( $p = 0.0001$ ) y mediante la prueba Tukey de comparación de medias encontraron un crecimiento relativo en altura promedio de  $1.26 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$  entre familias a 11.5 años de haberse establecido la prueba. El crecimiento está influenciado por las condiciones ambientales, las plantas crecen más rápido cuando disponen de abundancia de agua y nutrientes; pero las tasas de crecimiento tienen también un importante componente genético (Villar *et al.*, 2004).

En el presente trabajo se registraron menores crecimientos relativos en altura promedio para *P. halepensis* ( $1.13 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), *P. cembroides* ( $1.09 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), *P. pinceana* ( $1.08 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y *P. nelsonii* ( $1.07 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), con respecto a lo reportado por Piedra *et al.* (2006). *P. greggii* plantada en Tarihuanes, mostró un muy buen crecimiento, ya que a menos edad tuvo mayores crecimientos que los piñoneros e incluso que *P. halepensis*, eso demuestra el potencial de crecimiento en altura de *Pinus greggii* (Cuadro 3). Además, *P. greggii* posee la habilidad de crecer rápidamente; ha sido reportada como tolerante a la sequía (Vargas y Muñoz, 1988).

Cabe mencionar que ambos estudios presentan condiciones edafológicas y topográficas similares entre sí (Cuadro 3). El CAESA y el predio Los Tarihuanes presentan un tipo de suelo similar, feozem calcárico y rendzina (CETENAL, 1977), pero diferente profundidad, exposición y pendiente. El CAESA presenta una pendiente máxima del 4%, con exposición cenital y suelos poco profundos; mientras que en el predio Los Tarihuanes presenta una condición de ladera con exposición sur, con una pendiente de hasta 16 % (Cuadro 3).

Por otra parte, Cornejo *et al.* (2019) en un estudio realizado en un ensayo de procedencias de *Pinus cembroides* Zucc., establecido en Arteaga, Coah., los autores encontraron diferencias solo significativas ( $p = 0.0311$ ) entre las procedencias de Mazapil y Saltillo. Los autores citados encontraron un crecimiento relativo en altura promedio de  $1.12 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Los valores reportados por dichos autores son ligeramente mayores a los valores reportados en este estudio para *P. cembroides* ( $1.09 \text{ m m}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

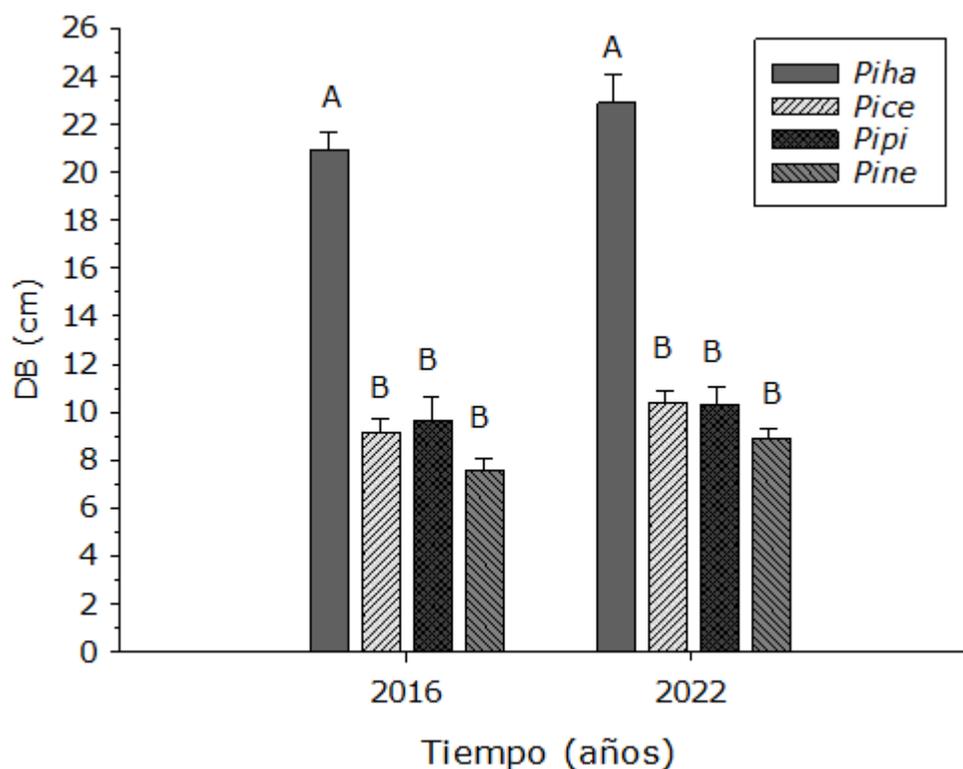
Estas diferencias se deben, principalmente, a la diferencia en el tiempo en la que se realizó la evaluación de los ensayos, ya que hay una diferencia de edad de 5 años desde la última evaluación de este estudio en el año 2022, con la última evaluación realizada por Cornejo *et al.* (2019) en el año 2017 (Cuadro 3). Cabe mencionar que ambas plantaciones, este estudio y Cornejo *et al.* (2019) tienen la misma edad y se encuentran contiguas en el CAESA y a pesar de esto *P. cembroides* presentó mejor crecimiento en altura en este estudio (Cuadro 3).

### 4.3 Diámetro a la base

El análisis de varianza para la variable diámetro a la base encontró diferencias significativas entre especies para el año 2016 ( $p = 0.0001$ ) y 2022 ( $p = 0.0001$ ), en cuanto al crecimiento relativo del diámetro a la base (CRDB) para los años 92-22, no se encontraron diferencias significativas.

La prueba Tukey de comparación de medias para diámetro a la base en el año 2016, encontró que los valores de *Pinus halepensis* (20.89 cm) fueron altamente diferentes a los valores de diámetro a la base que presentó *Pinus pinceana* (9.61 cm), *Pinus cembroides* (9.11 cm) y *Pinus nelsonii* (7.54 cm) (Figura 3). Lo anterior está relacionado con factores ambientales y de manejo que aumenten o limitan el crecimiento en diámetro del árbol, como lo son: densidad de la plantación, fotoperiodo, temperatura y disponibilidad de agua. Además, el diámetro depende, principalmente, del control del desarrollo de la copa y del espaciamiento entre árboles (Daniel *et al.*, 1982).

En el año 2022, se encontró diferencia solamente para *Pinus halepensis* (22.84 cm), ya que presentó el diámetro a la base el valor más alto y *Pinus nelsonii* (8.88 cm) presentó el diámetro a la base el valor más bajo, por lo que las otras dos especies, *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana* (10.38 y 10.29 cm, respectivamente) tuvieron valores intermedios de diámetro a la base (Figura 3). El árbol crece porque sus dimensiones aumentan, en consecuencia, el diámetro se incrementa por el crecimiento de los meristemos laterales; conocido como crecimiento secundario (Klepac, 1983).



Valores medios con las mismas letras no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) como la determina la prueba Tukey de comparación de medias.

Figura 3. Valores medios de diámetro a la base (DB; cm) para el año 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Domínguez *et al.* (2001) en la última evaluación realizada en el año 1998 encontraron diferencias significativas entre las especies en el diámetro a la base, *P. halepensis* (8.46 cm) presentó mayor diámetro a la base que *P. cembroides* (2.38 cm). Los valores de diámetro a la base reportados en este estudio son mayores a los reportados por Domínguez *et al.* (2001).

Cabe mencionar que a razón que no son plantaciones establecidas en el mismo año y que no fueron evaluadas a la misma edad, se tuvo que calcular el crecimiento promedio en diámetro a la base por año para realizar una mejor comparación de dicho crecimiento para ambos estudios. Por lo tanto, en el estudio de Domínguez *et al.* (2001), *P. halepensis* tuvo mayor crecimiento en altura por año a comparación con este estudio, mientras que *P. cembroides* tuvo menor crecimiento.

De acuerdo con lo anterior, estas diferencias se pueden deber, principalmente a la diferencia de edad en la que se realizó la última evolución de ambos estudios, dado que las condiciones específicas de espaciamiento entre árboles fueron similares, ya que, en el ensayo evaluado por Domínguez *et al.* (2001) el espaciamiento fue ligeramente mayor (2 x 2 m) que en el ensayo evaluado para este trabajo (1.8 x 1.8 m), por lo que seguramente esto se debe a la diferencia de edades a las que fueron evaluados los ensayos (Cuadro 4). m

Así mismo, otra de las razones por las que se pueden presentar estas diferencias, seguramente, es por la presencia de malezas con las que compiten los árboles, ya que en aquellas plantaciones donde se presenta una mayor densidad, el dosel tienden a cerrarse más pronto, lo que conlleva a que desaparezcan dichas malezas o por lo menos no representan más competencia para los árboles (Prado, 1989; Guerra *et al.*, 2014).

Ríos *et al.* (2008) encontraron diferencias estadísticamente significativas entre especies en la última fecha de medición realizada en el 2002,

Cuadro 4. Diámetro a la base (cm) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de diámetro a la base (cm) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Autor (Año)	EE (años)	Diámetro a la base (cm)	Ubicación (coordenadas LN-LW)	Altitud (msnm)	P (%) (E)	Suelo	Clima	Esp. (m)
Evaluación 2016 Evaluación 2022	24 29	<i>Pi pi</i> (9.95) <i>Pi ce</i> (9.75) <i>Pi ha</i> (21.87) <i>Pi ne</i> (8.21)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario Feozem calcárico y rendzina.	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una PMA de 410 mm.	1.8 x 1.8
Domínguez et al. (2001)	9	<i>Pi ce</i> (2.38) <i>Pi ha</i> (8.46)	El Durazno, Iturbide, Nuevo León. (24° 43' 50'y 99° 53' 00").	1400		Formaciones sedimentaria s. Litosol, rendzina y regosol calcáreo.	Seco (BS1hw'' (x') (e), con una TPA de 18° C y una PPA de 580 mm.	2 x 2

Ríos <i>et al.</i> (2008)	19	<i>Pi pi</i> (7.1) <i>Pi ce</i> (7.35) <i>Pi ne</i> (6.05)	Sta. Rosa, Iturbide, N.L. (24° 43' y 99° 52").	1550	30- 70	Lutitas y calizas de Cretácico Superior, junto con depositos sedimentario s recientes.	Templado subhúmedo (Cw) con una TPA de 17° C y una PPA de 600 mm.	1 x 1
Lucio (2011)	17.8	<i>Pi ce</i> (7.26)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36').	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario . Feozem calcárico y rendzina.	Templado (Cb(X')(Wo)( e)g), con una TMA de 13.6° C y una PMA de 521 mm.	1.8 x 1.8
Vázquez (2015)	27	<i>Pi ha</i> (20.4) <i>Pi ce</i> (11.48)	Buenvista, Saltillo, Coahuila (25° 21' y 101° 01')	1810	7 (O)	Xerosol Cálcico (Xk)	Árido, semicálido (BSohw) con una TMA de 18.5° C y una PMA de 347 mm.	

EE= edad de evaluación; LN=latitud norte; LW= longitud oeste; P= pendiente; E= exposición; Esp= Espaciamiento.

aunque sólo para *P. pinceana* ( $p = 0.0037$ ). Encontraron que *P. cembroides* (7.35 cm) y *P. pinceana* (7.1 cm) mostraron valores ligeramente mayores en diámetro a la base a los valores de *P. nelsonii* (6.05 cm). En comparación con lo anterior, en la última evaluación realizada en este estudio en el año 2022, si se encontraron diferencias significativas entre especies, donde los valores del diámetro a la base fueron ligeramente mayores a lo reportado por Ríos *et al.* (2008).

Para tener una mejor comparación en el crecimiento del diámetro a base de ambos estudios, se calcularon los crecimientos en diámetro a la base por año, ya que, hay una diferencia de 19 años desde la evaluación realizada por Ríos *et al.* (2008) y la última evaluación realizada en este estudio. En el estudio realizado por Ríos *et al.* (2008), *P. cembroides*, *P. pinceana* y *Pinus nelsonii* presentaron crecimientos en diámetro a la base promedio por año menores a los reportados en este estudio.

De acuerdo con los resultados descritos anteriormente, esta diferencia se debe, seguramente, a la diferencia de edades a las que fueron evaluados los ensayos y las condiciones específicas del espaciamiento que hay entre los árboles, ya que el espaciamiento entre árboles en el ensayo evaluado por Ríos *et al.* (2008) fue de 1 x 1 m y en este ensayo el espaciamiento fue de 1.8 x 1.8 m (Cuadro 4).

Es por ello, que, los árboles plantados a 1.8 x 1.8 m en este estudio, seguramente, desarrollaron una mayor área de copa comparados con los plantados a 1 x 1 m que reportó Ríos *et al.* (2008), de acuerdo a esto, los árboles en este estudio tuvieron mejores condiciones para el crecimiento en diámetro que los árboles evaluados por Ríos *et al.* (2008) (Cuadro 4).

Los árboles que crecen bajo condiciones de alta densidad no pueden desarrollar, de una manera satisfactoria, tanto su sistema radicular como su copa, por lo que su incremento en diámetro disminuye cuando se cierran o dejan de crecer las copas (Klepac, 1983). El adecuado espaciamiento en las plantaciones es importante, ya que influye en el grado de competencia entre árboles y de estos con las malezas; puesto que puede afectar la tasa de crecimiento por el cierre del dosel o bien puede influir en el desarrollo y longevidad de las ramas Prado (1989).

Lucio (2011) reportó que de acuerdo al análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ( $p=0.0133$ ) y de acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias encontró que *P. cembroides* arrojó un diámetro a la base promedio de 7.26 cm de las tres procedencias a 17 años 8 meses de su establecimiento.

Los valores descritos, anteriormente, fueron ligeramente menor al valor promedio en diámetro a la base que se presentó en este estudio. Pero a razón de que existe una gran diferencia en la edad de la plantación en la última evaluación realizada por ambos autores, fue necesario calcular los crecimientos promedio en diámetro a la base por año, con la finalidad de tener más certeza en cuanto al crecimiento que tuvo *Pinus cembroides* para ambos estudios.

Con base en lo anterior, en el estudio realizado por Lucio (2011) *P. cembroides* presentó mayor crecimiento promedio en diámetro a la base por año que en nuestro estudio. Estas diferencias se deben, principalmente, a la diferencia en el tiempo en la que se realizó la evaluación de los ensayos, ya que hay una diferencia de edad de 12 años

desde la última evaluación de este estudio en el año 2022, con la última evaluación realizada por Lucio (2011) en el año 2010 (Cuadro 4).

Cabe mencionar que ambas plantaciones, este estudio y Lucio (2011) fueron establecidas en el mismo año, por ende, tienen la misma edad y se encuentran contiguas en el CAESA. A pesar de esto, *P. cembroides* presentó mejor aclimatación en nuestro estudio y por ende mayor diámetro a la base. El espaciamiento entre árboles al que fueron establecidos los ensayos fue el mismo (1.8 x 1.8 m) (Cuadro 4).

Por otro lado, Vázquez (2015) en un estudio realizado en una plantación establecida en Buenavista, Saltillo, Coahuila, para evaluar el crecimiento de cinco especies de *Pinus* (*Pinus halepensis*, *Pinus eldarica*, *Pinus pinea*, *Pinus maximartinezii* y *Pinus cembroides*) a 27 años de su establecimiento, el autor encontró que el diámetro a la base promedio para *P. halepensis* (20.4 cm) fue mayor al encontrado para *P. cembroides* que fue de 11.48 cm.

En comparación con este estudio, el diámetro a la base de *P. cembroides* (9.75 cm) fue menor al reportado por Vázquez (2015), mientras que el valor de diámetro a la base de *P. halepensis* (21.87 cm) en este estudio fue mayor a lo obtenido por Vázquez (2015).

Esta diferencia se puede deber a la aclimatación de las especies derivada, seguramente, de las diferentes condiciones, como el tipo de suelo, altitud y precipitación que se presentan en los sitios en las que fueron plantadas (Cuadro 4). Lo anterior muestra la capacidad de cada una de las especies

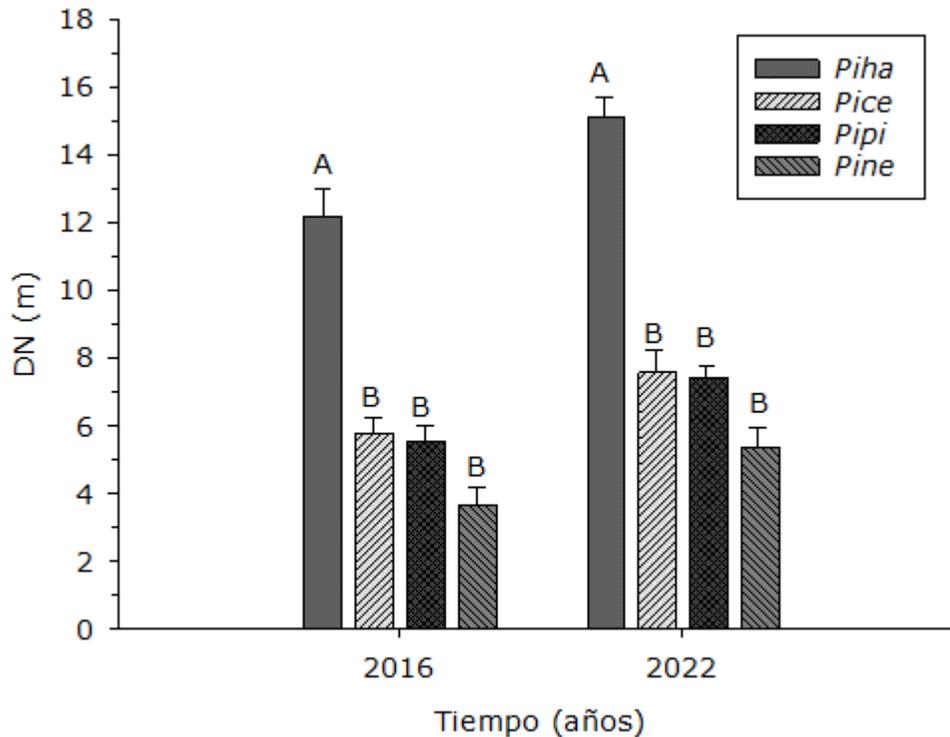
para responder de manera distinta a las condiciones de los diferentes sitios.

#### **4.4 Diámetro normal**

El análisis de varianza para la variable diámetro normal encontró diferencias significativas entre especies para el año 2016 ( $p = 0.0002$ ) y 2022 ( $p = 0.0001$ ), en cuanto al crecimiento relativo del diámetro normal (CRDN) para los años 92-22, no se encontraron diferencias significativas.

La prueba de comparación de medias de Tukey para diámetro normal en el año 2016 encontró que los valores de *Pinus halepensis* (12.47 cm) fueron altamente diferentes a los valores de diámetro normal que presentó *Pinus pinceana* (5.54 cm), *Pinus cembroides* (5.76 cm) y *Pinus nelsonii* (3.65 cm) (Figura 4). El crecimiento de los árboles se puede deber, a la interacción de procesos fisiológicos, como la fotosíntesis y asimilación de nutrientes (Mendoza, 2015). La eficiencia de estos procesos está relacionada con los factores ambientales bajo los cuales se desarrollan y el potencial genético de cada especie o individuo (Kramer y Kozlowski, 1979).

En la evaluación del año 2022 los valores de diámetro normal aumentaron ligeramente, se encontró diferencia solamente para *Pinus halepensis* (15.09 cm), ya que presentó el diámetro normal más alto y *Pinus nelsonii* (5.34 cm) presentó el diámetro normal más bajo, por lo que las otras dos especies, *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana* (7.56 cm y 7.40 cm, respectivamente) tuvieron valores intermedios de diámetro normal (Figura 4).



Valores medios con las mismas letras no son significativamente diferentes ( $\alpha=0.05$ ) como la determina la prueba Tukey de comparación de medias.

Figura 4. Valores medios de diámetro normal (DN; cm) para el año 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Mejía (2017) en un estudio realizado en una plantación de *Pinus pinceana* Gordon y *Cupressus arizonica* Greene, en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila, el autor encontró un diámetro promedio para *P. pinceana* de 10.2 cm. Los valores de diámetro normal reportados en este estudio para *P. pinceana* (6.47 cm) son menores a los reportados por el citado autor.

Estas diferencias se deben, seguramente, a la diferencia de edades a las que fueron evaluados los ensayos, así como también a las condiciones edafológicas que se presentan en cada uno de los sitios donde se realizaron los estudios (Cuadro 5). El CAESA presenta un tipo de suelo feozem calcárico y rendzina, con suelos poco profundos a comparación con el ejido Cuauhtémoc presenta un tipo de suelo litosol y xerosol cálcico poco desarrollados menores de 30 cm de profundidad. Una forma de controlar el crecimiento en diámetro es mediante los aclareos, ya que esta actividad puede estimular el crecimiento en diámetro (Musálem, 2006) (Cuadro 5).

Por otro lado, Marroquín *et al.* (2018) en un estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides* y *Pinus halepensis* en dos áreas: Cuauhtémoc y El Recreo, de Saltillo, Coahuila, encontró que *P. halepensis* (14.85 cm) presentó un diámetro normal promedio mayor al diámetro normal promedio de *P. cembroides* (8.55 cm) a 22 años de establecidas las plantaciones. De acuerdo con los resultados descritos anteriormente, los valores en este estudio fueron menores a los reportados por el citado autor.

Lo anterior se debe, seguramente, a la diferencia de edades de las plantaciones cuando fueron evaluadas, ya que hay una diferencia de 5 años desde la última evaluación de este estudio en el año 2022, con la última evaluación de Marroquín *et al.* (2018) en el año 2017 (Cuadro 5).

Además, también se le puede atribuir a las condiciones edafológicas donde se establecieron los ensayos.

Cuadro 5. Diámetro normal (cm) reportada por otros autores y su comparación con los valores medios de diámetro normal (cm) en los años 2016 y 2022, en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

Autor (Año)	EE (años)	Diámetro normal (cm)	Ubicación (coordenadas LN-LW)	Altitud (msnm)	P (%) (E)	Suelo	Clima	Esp. (m)
Evaluación 2016 Evaluación 2022	24 29	<i>Pi pi</i> (6.47) <i>Pi ce</i> (6.6) <i>Pi ha</i> (13.8) <i>Pi ne</i> (4.5)	CAESA, Arteaga, Coah. (25° 24' y 100° 36").	2280	4 (C)	Rocas de origen sedimentario. Feozem calcárico y rendzina.	Semiárido templado (BS1k(x')), con una TMA de los 12 a 18° C y una PMA de 410 mm.	1.8 x 1.8
Mejía (2017)		<i>Pi pi</i> (10.2)	Ejido Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila (25° 16' 40.29" y	2206		Litosol xerosol cálcico	Clima árido semicálido (BS0hw) y semiárido templado (BS1KW), con una PMA de	

			100° 59' 03.56").				125 a 400 mm y una TMA 14 °C 18°C	
Marroquín <i>et al.</i> (2018)	22	<i>Pi ha</i> (14.9) <i>Pi ce</i> (8.6)	Ejido Cuauhtémoc (25°16'45.60" y 100°59'20.49") y el ejido El Recreo (25°14'43.94" y 101°04'26.47").	2162 y 1982 m		Litosol Xerosol cálcico	Árido semicálido (BSohw) y semiárido templado (BS1kw), con una PMA de 125 a 400 mm, y una TMA de 14 a 18 °C.	
Montoya <i>et al.</i> (2018)	40	<i>Pi ha</i> (33.4)	Sierra de Zapalinamé, al sureste de Saltillo Coahuila, México (25°20'41.75" y 101°01'30.63")	1800	10 (W)	Existen dos tipos de suelo (Litosol Xerosol cálcico)	Árido semicálido (Bsohw), con un PMA que va desde 250 hasta 400 mm y una TMA que oscila entre 18 y 22 °C.	6 x 6

EE= edad de evaluación; LN=latitud norte; LW= longitud oeste; P= pendiente; E= exposición; Esp. = espaciamiento.

El ejido Cuauhtémoc y El Recreo presentan un tipo de suelo litosol y xerosol cálcico poco desarrollados menores de 30 cm de profundidad (Marroquín *et al.*, 2018), a comparación con El CAESA el cual presenta un tipo de suelo feozem calcárico y rendzina (CENETAL, 1977), con suelos poco profundos (Cuadro 5).

En otro estudio realizado por Montoya *et al.* (2018) en una plantación de *Pinus halepensis* Mill. de aproximadamente 40 años de edad en la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, que se estableció en varias etapas desde 1960 al 1978, los autores encontraron que *P. halepensis* presentó un diámetro normal promedio de 33.36 cm. El diámetro normal promedio reportado en este estudio (13.78 cm) es menor a al reportado por los citados autores, dado la diferencia de 11 años en la edad a la que fue evaluada la plantación por los citados autores (Cuadro 5).

El espaciamiento entre árboles a la que fue establecida la plantación evaluada por Montoya *et al.* (2018) fue de 6 x 6 m, mientras que en el presente trabajo el esparcimiento entre árboles fue de 1.8 x 1.8 m (Cuadro 5). Por lo que, dicho espaciamiento, probablemente, fue el motivo por de la diferencia en el valor del diámetro normal entre este estudio y el reportado Montoya *et al.* (2018).

Dado que existe una relación directa entre el espaciamiento y el crecimiento en diámetro, por lo tanto, a menor densidad mayor es el diámetro (Prado, 1989); la relación anterior también depende en gran parte de la edad del árbol, la especie de que se trate y la calidad de sitio (Klepac, 1983). Un buen espaciamiento ocasiona que los árboles tengan menor competencia para desarrollar el crecimiento, de tal manera, que

les permite desarrollar mayores diámetros, dado que la competencia por el espacio influye directamente en el crecimiento del diámetro (Guadalupe *et al.*, 2018).

## 5. CONCLUSIONES

La sobrevivencia fue diferente para todas las especies en los diferentes años de evaluación (1994, 2016 y 2022). *P. cembroides* tuvo los valores de sobrevivencia promedio más altos (85.17%) y *P. nelsonii* los valores de sobrevivencia más bajos en los diferentes años evaluados (1994, 2016 y 2022).

Para las variables de altura, diámetro a la base y diámetro normal se encontraron diferencias entre las especies en ambas evaluaciones (2016 y 2022), igualmente se encontraron diferencias entre las especies sólo con respecto al crecimiento relativo en altura de 1992 al 2022 (CRALT92\_22). *P. halepensis*, en general, fue la especie que obtuvo los valores más altos con respecto a la altura, diámetro a la base y diámetro normal. En contraste, *P. nelsonii* fue la especie que obtuvo los valores más bajos de altura, diámetro a la base y diámetro normal en las evaluaciones de los años 2016 y 2022.

Las cuatro especies de pino tuvieron buena aclimatación al sitio de plantación a 29 años de su establecimiento, excepto por *Pinus nelsonii*. Dada la sobrevivencia y el crecimiento de *P. cembroides*, *P. pinceana* y *P. halepensis* se pueden usar en programas de reforestación de sitios semejantes en donde fueron plantados en este estudio.

## **6. RECOMENDACIONES**

Seguir con las evaluaciones a corto plazo en la plantación, para identificar los caracteres con mayor relevancia con respecto a la aclimatación, crecimiento y desarrollo de las cuatro especies para seleccionar material y obtener mayores ganancias genéticas con características de valor económico y ecológico.

Realizar trabajos en la plantación, tales como: podas y aclareos, para liberar los árboles de competencia y puedan desarrollar su máximo potencial tanto en crecimiento en altura como en diámetros a la base y diámetro normal.

Realizar estudios epidométricos para determinar los efectos de la calidad de sitio y la densidad de plantación sobre el crecimiento y desarrollo de los árboles establecidos en el ensayo o en posteriores pruebas genéticas.

Establecer nuevos ensayos con las mismas especies, en los que se prueben diferentes preparaciones de sitio, densidades y calidad de planta para mejorar la sobrevivencia y crecimiento de dichas especies.

## 7. REFERENCIAS

- Alba L., J. 1996. Mejoramiento genético forestal en el estado de Veracruz. Tesis profesional. Maestría en Ecología Forestal, Instituto de Genética Forestal. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 80 p.
- Amaral W. y A. Yanchuk. 2007. Métodos integrados para la conservación ex situ y el uso de la diversidad genética forestal. In: Conservación y Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Vol. 3: Plantaciones y Bancos de Germoplasma (*ex situ*). FAO, FLD, Bioversity International (comps.). Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos. Roma, Italia. 1-2 pp.
- Beresford P. H. 1968. El bosque, los alimentos y el hombre. FAO. Roma. 83 p.
- Blanco C. E., M. Costa T., C. Morla J. y H. Sáinz O. 1998. Los bosques ibéricos: una interpretación geobotánica. 4a ed. rev. Ed. Planeta, Barcelona. 598 p.
- Caballero D., M. y R. R. Ávila. 1989. Importancia actual y potencial de los pinos piñoneros en México. In: Memorias 3er simposio nacional sobre pinos piñoneros. Flores F., J. D., J. Flores L., E. García M., R. H. Lira S. (Eds.). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 153-156 pp.
- Cabanillas S., A. M. 2010. Bases para la gestión de masas naturales de *Pinus halepensis* Mill. en el valle del Ebro. Escuela Técnica Superior

de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 209 p.

Cárdenas L., V. B. 2010. Ensayo de adaptación de cuatro especies de procedencias de *Pinus pinceana* Gordon en el municipio de Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 51 p.

CETENAL. 1976. Carta Geológica. San Antonio de las Alazanas, G14 C35. Escala 1:50,000. México.

CETENAL. 1977. Carta Edafológica. Arteaga, G14 C34. Escala. 1:50,000. México.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2001. Climas. Catálogo de metadatos geográficos. Escala 1:1 000 000. Formato Digital (Tipo Shape file). México.

Clausen K. E. 1990. Producción de semillas forestales genéticamente mejoradas. In: Memoria Sobre Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. (Plancarte B., A. y Eguiluz P., T., Ed.) Chapingo, México. 78-88 pp.

Cornejo O., E. H., E. Bucio Z., R. Contreras M., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Tasa de crecimiento relativo en altura de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila. Memoria de resúmenes. VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, Chihuahua. 322-323 pp.

Cornejo O., E. H., G. Pérez P., J. C. Pérez E., S. Valencia M. y C. Flores L. 2019. Crecimiento relativo en altura total y diámetro basal en un ensayo de tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc., establecido en Arteaga, Coah. Ponencia presentada en el XIV Congreso

Mexicano de Recursos Forestales 2019. Ciudad de Victoria de Durango, Durango.

Daniel T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de la silvicultura. 2da. edición. McGraw-Hill. México. 492 p.

De la Piedra A., E. A., E. H. Cornejo O., S. Valencia M. y C. Flores L. 2006. Tasas de crecimiento relativo de un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Arteaga, Coahuila. *In*: Memoria de resúmenes. XXI Congreso Nacional y Primero Internacional de Fitogenética. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

DETENAL, Dirección General de Estudios del Territorio Nacional. 1979. Carta uso de suelo y vegetación. San Antonio de las Alazanas G14C35, escala 1:50 000. Formato Digital. Coordinación General del Sistema Nacional de Información. Secretaria de Programación y Presupuesto. D.F., México.

Domínguez C., P. A., J. de J. Návar C. y J. A. Loera O. 2001. Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. *Revista Madera y Bosques*. Instituto de ecología, A. C. Xalapa, México. 7(1): 27-25 pp.

Eguiluz P. T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. 623 p.

Estrada C., A. E., J. Á. Villarreal Q., M. M. Salinas R., C. M. Cantú A., H. González R. y J. Jiménez P. 2014. Coníferas de Nuevo León, México. 1a Ed. Universidad Autónoma Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo León, México. 145 p.

- Farjon A. 1996. Biodiversity of *Pinus* (Pinaceae) in México: speciation and paleoendemism. *Botanical Journal of the Linnean Society* 121 (4): 365-384 pp.
- Farjon A. y B. T. Styles. 1997. *Flora Neotropica. Pinus* (Pinaceae). New York. USA.: The New York Botanical Garden. 291 p.
- Farjon A. y C. N. Page. 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., Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 121 p.
- Farjon A. 2017. *A handbook of the world's conifers*. Vol. 1 y Vol. 2. Second edition. Bill, Leiden-Boston, USA. 1153 pp.
- Flores F., J. D., J. A. Nájera C. y L. Morales Q. 2004. Principales plagas de los pinos piñoneros en el sur de Coahuila. *In: Memoria de resúmenes. IV Simposio Internacional sobre la Flora Silvestre en Zonas Áridas*. Delicias, Chihuahua.
- Franco Á., R. C., E. H. Cornejo O., S. Valencia M. y J. A. Villareal Q. 2003. Asociación del índice de sitio de *Pinus montezumae* Lamb. con variables ambientales y vegetación en Cd. Hidalgo, Michoacán. *Recursos Forestales*. Hidalgo, Michoacán. *Agrofaz*. 3 (1):289-298 pp.
- García A. E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía, UNAM. 5ta. edición. Serie Libros. México. 90 p.

- García P. J. 2014. Adaptación de cinco especies de coníferas en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 59 p.
- Gil L., P. M. Díaz F., M. P. Jiménez., M. Roldán., R. Alía., D. Agúndez., J. De Miguel., S. Martín y M. De Tuero. 1996. Las regiones de procedencia de *Pinus halepensis* Mill. en España. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, España. 156 p.
- Gómez R. M., J. C. Soto C., J. A. Blanco G., C. Sáenz R., J. Villegas y R. Linding C. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia. Michoacán. Agrociencia. 46(8): 795-807 pp.
- Goor A. Y. y C. W. Barney. 1976. Forest tree planting in arid zones. Ed. Ronald Press. New York. 504 p.
- Guadalupe C. J., O. A. Aguirre C., J. J. Corral R., E. Viveros G., S. Corral R. y F. Crecente C. 2018. Influencia de la competencia en el crecimiento diamétrico de *Pinus durangensis* Martínez en Durango, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9: 94-121 pp.
- Gualda C. M. 2000. Utopía verde. Alternativas verdes para el planeta azul (*Pinus halepensis* Mill.). Fundación andaluza.
- Guerra B. E., F. Celis M y N. Moreno G. 2014. Efecto de la densidad de plantación en la rentabilidad de plantaciones de *Eucalyptus globulus*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Chapingo, México. 20 (1): 21-31 pp.
- Hunt R. 1990. Basic Growth Analysis. Plant Growth Analysis for Beginners. London, Unwin, Hyman, Boston, Sydney and Wellington. 112 p.
- INEGI. 2000. Carta topográfica. San Antonio de las Alazanas. D14 C35. Escala 1:50,000. México.

- Klepac D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Klepac D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2da. edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 279 p.
- Kramer P. y T. Kozlowski. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press. New York. 811 p.
- López O., L. A. 2010. Sobrevivencia y crecimiento de cinco especies de coníferas en tres localidades de la sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 79 p.
- López G., C. D. 2016. Crecimiento de una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. utilizando sustrato mejorado con biosólidos en Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 58 p.
- Lucio D. C. 2011. Sobrevivencia, crecimiento y arquitectura de copa en tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. en el CAESA, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 71 p.
- Marroquín M. P., J. Méndez G., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C. y J. I. Yerena Y. 2018. Estimación de biomasa aérea en *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. en Saltillo, Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Saltillo, Coahuila. 9 (47): 17 p.
- Martínez M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda Edición. Editorial Botas México. 361 p.
- Mejía M. M. 2017. Estimación de Biomasa Aérea Mediante Modelos Alométricos en *Pinus pinceana* Gordon y *Cupressus arizonica* Greene, en el Ejido Cuauhtémoc, Saltillo, Coahuila. Tesis

- Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 52 p.
- Mendoza H. M. 2015. Incremento diamétrico de cinco especies arbóreas con potencial maderable del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Forestales. Universidad Veracruzana repositorio Institucional. Xalapa, Veracruz, México. 73 p.
- Mesén J. F. 1994. Introducción al mejoramiento genético forestal. *In*: Curso nacional sobre identificación, selección y manejo de rodales semilleros. Baja Verapaz, Guatemala. 29-44 pp.
- Mirov N. T. 1967. The genus *Pinus*. The ronald press company. New York. 602 p.
- Montoya J., J. C., J. Méndez G., L. Sosa D., C. G. Ruiz G. A. Zermeño G., J. A. Nájera L., M. G. Manzano C. y A. Velázquez R. 2018. Ecuaciones de biomasa aérea y volumen para *Pinus halepensis* Mill., en Coahuila, México. *Madera y Bosques*, 24(Núm. esp.). 11 p.
- Murillo G. O. 1994. Capítulo 12: Estrategias de mejoramiento genético forestal. *In*: Manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central. J. P. Cornelius, J. F. Mesén y E. A. Correa (eds.). Turrialba, Costa Rica CATIE. 187-199 pp.
- Musálem M. A. 2006. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 213 p.
- Navarro M., J. A. 2000. Establecimiento y manejo de plantaciones bajo sistemas de agroforestales en el estado de Guerrero. *In*: I congreso nacional de reforestación. Resúmenes de ponencias. SEMARNAT-PRONARE-CP. Montecillos, Estado de México. (pág. s/n).

- Orozco B. E., E. Jordán G., E. Del Pozo G., J. Carmona G., J. A. López D. y J. J. Martínez S. 2007. Estudio de la influencia de la intensidad de poda en *Pinus halepensis* Mill. sobre diversos parámetros morfológicos, fisiológicos y biológicos. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real, España. 63 p.
- Passini M. F. 1985. Algunas consideraciones acerca de los pinos piñoneros en México. *In*: Simposio Nacional sobre los pinos piñoneros. Folleto Científico N° 2. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, Linares, N. L. México. 130-136 pp.
- Pedersen A. P., K. Olesen y L. Graudal. 1993. Mejoramiento forestal a nivel de especies y procedencias. Mejoramiento forestal y conservación de los recursos genéticos forestales. Nota de clase No. D. 3. Humlebaek, Dinamarca. 57-73 pp.
- Perry P. J. 1991. The Pines of México and Central America. Timber press. Portland, Oregón. U. S. A. 231 p.
- Prado D., J. A. 1989. Manejo de plantaciones. *In*: *Eucalyptus*: principios de silvicultura y manejo. INFORCORFO. Impresos Nova Ltda. Santiago, Chile. 79-10 pp.
- Prado D., J. A. 2015. Plantaciones forestales más allá de los árboles. (Eds.). Colegio de Ingenieros Forestales. Corporación Chilena de la Madera, Ingenieros Forestales Chile. Santiago de Chile. 166 p.
- Proebsting W. M. y G. Landren. 1985. Growing Christmas trees in the Pacific North-west. Pacific North West Extension Publication PNW6. USA. 15 p.
- Ramírez G. J. 2008. Ensayo de procedencias de *Pinus pinceana* Gordon en tres localidades del norte de México. Tesis Profesional.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. Coahuila. 53 p.

Ríos C. E. de los., R. De Hoogh y J. J. Návar, C. 2008. Ensayo de especies con pinos piñoneros en el noreste de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Chapingo México. 14(2): 97-104 pp.

Robert, M. F. 1977. Notas sobre el estudio ecológico y fitogeográfico de los bosques de *Pinus cembroides* Zucc. en México. Revista Ciencia Forestal 2 (10): 49-58 pp.

Rozas O. V. F. 2004. Estrategias de establecimiento, crecimiento y tolerancia a la sombra en un bosque caducifolio maduro de la Cornisa Cantábrica. Cuaderno de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 20: 105-109 pp.

Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.

Rzedowski J. (2006). Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.

Sánchez G. A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques 14 (1):107-120 pp.

Santillán H. M., E. H. Cornejo O., J. Villanueva D., J. Cerano P., S. Valencia M. y M. A. Capo A. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. Madera y Bosques. 16 (1): 17-30 pp.

Smith M. D., B. C. Larson, M. J. Kelty y P. M. S. Ashton. 1996. The practice of silvicultura: applied forest ecology. 9ª edición. Nueva York: J. Wiley. 539 p.

- Universidad Autónoma de Nuevo León. 1985. *In: Memorias, Primer Simposium Nacional, Sobre Pinos Piñoneros; Linares Nuevo León, México.* 144 p.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72: 197-208 pp.
- Vázquez G., Y. D. 2015. Crecimiento de cinco especies de *Pinus* en una plantación a 27 años de establecida en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 69 p.
- Villar R., J. Ruiz R., J. L. Quero., H. Pobre., F. Valladares y T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. 193-230 pp.
- Villarreal C. R. 1994. Obtención y manejo de germoplasma forestal para la producción de planta. En M. Á. Baldemar (Ed.), *In: IV reunión nacional sobre plantaciones forestales. Resúmenes de Ponencia.* SARH. México, D. F. 6 p.
- Wabo E. 2002. Crecimiento en árboles capítulo 4. Curso de Biometría Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. 1-4 pp.
- Zavarin E. y K. Snajberk. 1987. Monoterpene differentiation in relation to the morphology of *Pinus culminicola*, *Pinus nelsonii*, *Pinus pinceana* and *Pinus maximartinezii*. *Biochemical Systematics and Ecology* 15 (3): 307-312 pp.

Zobel B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, México D.F. Limusa. 545 p.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Programas en SAS para el análisis de varianza

Sobrevivencia

```
options ls=100 ps=60 pageno=1;
proc format;
value espe 1='Pi ne' 2='Pi pi' 3='Pi ce' 4='Pi ha';
data karen2;
infile 'C:\Users\ADM\Desktop\Karen\Documentos\Tesis\Karen Enedina Rafael
Cruz\sobre.dat';
input BLOQUE ESPE Sobre92 Sobre92trans Sobre93 Sobre93trans Sobre94
Sobre94trans Sobre16 Sobre16trans Sobre22 Sobre22trans;
format espe espe.;
proc anova;
class bloque espe;
model Sobre94trans Sobre16trans Sobre22trans= bloque espe;
means espe / tukey;
run;
proc sort;
by espe bloque;
run;
proc means n min mean max var std stderr cv;
by espe ;
var Sobre92 Sobre92trans Sobre93 Sobre93trans Sobre94 Sobre94trans
Sobre16 Sobre16trans Sobre22 Sobre22trans;
run;
```

Crecimiento en altura, crecimiento relativo en altura (CRALT), diámetro a la base y diámetro normal.

```
options ls=80 ps=60 pageno=1;
proc format;
value espe 1='Pi ne' 2='Pi pi' 3='Pi ce' 4='Pi ha';
data karen;
infile 'C:\Users\Eladio Cornejo\Documents\Karen Enedina Rafael Cruz\datos
creci.dat';
input BLOQUE ESPE ARBOL ALT_92m DB_92cm ALT_16m DN_16cm DB_16cm
ALT_22m DN_2022cm DB_22cm CRALT92_22 CRDN16_22 CRDB92_22;
format espe espe.;
proc sort;
  by bloque espe arbol;
run;
proc means noprint;
  by bloque espe ;
var ALT_16m DN_16cm DB_16cm ALT_22m DN_2022cm DB_22cm
CRALT92_22 CRDN16_22 CRDB92_22;
output out=medias mean=ALT_16m DN_16cm DB_16cm ALT_22m
DN_2022cm DB_22cm CRALT92_22 CRDN16_22 CRDB92_22;
run;
data nuevo;
set medias;
proc anova data=medias;
  class bloque espe;
  model ALT_16m DN_16cm DB_16cm ALT_22m DN_2022cm DB_22cm
CRALT92_22 = bloque espe;
  means espe /tukey;
run;
```

## Anexo 2: Análisis de varianza para las variables estudiadas

Análisis de varianza para la sobrevivencia en los años 1994, 2016 y 2022 en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) a 29 años de establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

<b>SOBREVIVENCIA</b>						
<b>Año</b>	<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Valores de F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
1994	Bloque	2	0.0162	0.0081	2.27	0.1843
	Especie	3	0.7186	0.2395	67.18	<.0001
	Error	6	0.0214	0.0036		
	Total	11	0.7562			
2016	Bloque	2	0.0079	0.0039	0.26	0.7825
	Especie	3	0.4730	0.1577	10.22	0.0090
	Error	6	0.0926	0.0154		
	Total	11	0.5734			
2022	Bloque	2	0.0027	0.0014	0.11	0.8959
	Especie	3	0.4644	0.1548	12.83	0.0051
	Error	6	0.0724	0.0121		
	Total	11	0.5395			

FV=Fuente de variación; GL=grados de libertad; SC=suma de cuadrados; CM=cuadrados medios; Pr>F=probabilidad.

Análisis de varianza para la de altura en los años 2016 y 2022, así como para el crecimiento relativo en altura (CRALT) de los años del 92-22 en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

<b>ALTURA</b>						
<b>Año</b>	<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Valores de F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
2016	Bloque	2	0.0045	0.0022	0.01	0.9859
	Especie	3	105.9360	35.3120	222.95	<.0001
	Error	6	0.9503	0.1584		
	Total	11	106.8908			
2022	Bloque	2	0.1139	0.0570	0.32	0.7402
	Especie	3	108.0270	36.0090	200.10	<.0001
	Error	6	1.0798	0.1800		
	Total	11	109.2207			
CR92_22	Bloque	2	0.0000	0.0000	0.79	0.4969
	Especie	3	0.0054	0.0018	141.99	<.0001
	Error	6	0.0001	0.0000		
	Total	11	0.0055			

FV=Fuente de variación; GL=grados de libertad; SC=suma de cuadrados; CM=cuadrados medios; Pr>F=probabilidad.

Análisis de varianza para las características de crecimiento en diámetro a la base y diámetro normal para los años 2016 y 2022 en un ensayo de *Pinus halepensis* Mill. (*Pi ha*), *Pinus cembroides* Zucc. (*Pi ce*), *Pinus pinceana* Gordon (*Pi pi*) y *Pinus nelsonii* Shaw (*Pi ne*) establecido en el Campo Agrícola Experimental Sierra de Arteaga, Arteaga, Coah.

<b>DB y DN</b>						
<b>Año</b>	<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Valores de F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
DB2016	Bloque	2	1.9505	0.9753	0.48	0.6391
	Especie	3	338.3860	112.7953	55.84	<.0001
	Error	6	12.1194	2.0199		
	Total	11	352.4560			
DB2022	Bloque	2	1.7595	0.8797	0.41	0.6823
	Especie	3	383.6465	127.8822	59.27	<.0001
	Error	6	12.9447	2.1574		
	Total	11	398.3506			
DN2016	Bloque	2	1.9152	0.9576	0.90	0.4554
	Especie	3	134.3322	44.7774	42.05	0.0002
	Error	6	6.3888	1.0648		
	Total	11	142.6362			
DN2022	Bloque	2	2.2197	1.1099	1.13	0.3823
	Especie	3	165.1517	55.0506	56.22	<.0001
	Error	6	5.8748	0.9791		
	Total	11	173.2462			

FV=Fuente de variación; GL=grados de libertad; SC=suma de cuadrados; CM=cuadrados medios; Pr>F=probabilidad.