

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Comparación del Crecimiento en Diámetro de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon, en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí

Por:

JUDITH REYES FLORES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Comparación del Crecimiento en Diámetro de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pincea*
Gordon, en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí

Por:

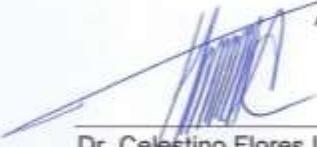
JUDITH REYES FLORES

TESIS

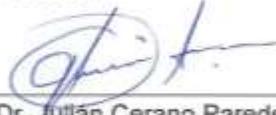
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal Interno




Dr. Julián Cerano Paredes
Asesor Principal Externo

M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre de 2019

La Piedra

El distraído tropezó con ella

El violento la uso como proyectil

El emprendedor construyó, con ella

El campesino cansado la utilizó como asiento

Para los niños fue un juguete

Miguel Ángel le sacó la más bella escultura

En todos los casos,

la diferencia no estuvo en la piedra

sino en la actitud de la persona.

“Anónimo”

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38111-425103001-2173, Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Alejandro Reyes Tequipanecatl y **Sabina Flores Flores**, gracias por brindarme todo el apoyo, por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes, que me formaron con reglas estrictas y con algunas libertades, por motivarme constantemente para alcanzar mis anhelos y sobre todo por el sacrificio que fue para ustedes brindarme lo mejor, por todo esto les dedico este logro y sobre todo Gracias por el gran cariño y amor que me han dado.

A MIS HERMANOS

Tania, Cibely, Alejandro y la más pequeña **Yatzary**, gracias por estar siempre apoyándome a pesar de estar fuera de casa desde hace ya tiempo, así mismo por los momentos alegres que hemos vivido, por mantenernos siempre unidos y ser cómplices de varias travesuras, además que tengan presente que con decisión y voluntad de salir adelante puedan lograr cualquier meta.

A MIS TÍOS

Abad Flores y **Francisca Flores**, gracias por el apoyo incondicional que me brindaron en mi desarrollo profesional, además de los buenos consejos y la motivación en todo momento para seguir adelante, sobre todo siéntanse orgullosos de ayudarme a cumplir esta meta.

A **Juan Ramírez Méndez**, gracias por estar conmigo, aunque no ha sido fácil gracias por el apoyo además de la motivación cuando más lo necesite, tenerte a mi lado fue fundamental en esta etapa de mi vida.

Al señor: **Manuel Ramírez Domínguez**, quien es una gran persona y sobre todo de buen corazón, papá de uno de mis mejores amigos que me ha apoyado a un sin conocerme, personas como usted hay pocas en el mundo le agradezco de todo corazón el apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A mi **“ALMA MATER”** por haber permitido mi estadía durante todo el tiempo de mi ingeniería y brindarme todas las facilidades para mi formación profesional.

A los Profesores del Departamento Forestal a todos y cada uno de ellos, que me transmitieron su conocimiento día a día durante el tiempo de mi formación como profesionalista.

Al **Dr. Celestino Flores López**, asesor principal de este trabajo, quien tiene un amplio conocimiento y una gran experiencia laboral, gracias por todo el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, por darme la oportunidad y la confianza de salir a campo y laboratorio, por ser un ejemplo a seguir como persona y profesionalista, por sus consejos, por transmitirme muchos de sus conocimientos durante estos años.

Al **Dr. Julián Cerano Paredes** con respeto y admiración por darme la oportunidad de haber trabajado en el laboratorio del INIFAP, por lo enseñado y su asesoría para la realización de este trabajo. A su esposa la **M.C. Rosalinda Cervantes**, por ser tan amable, por sus enseñanzas y aconsejarme, a los dos por su hospitalidad y confianza muchas gracias.

Al **M.C. Salvador Valencia Manzo**, por su disposición en la participación de este trabajo y el tiempo en la revisión de mismo, así como por su amabilidad y comprensión.

Al **Ing. Marco Antonio Granillo Chapa**, por compartir su experiencia, amistad y su apoyo.

A los integrantes del Comisariado Ejidal; María del Refugio Pineda Posadas y Jerónimo Ávila Martínez, por bríndame el permiso para recorrer el área de estudio, así como a la señora Cecilia Duarte Aguilar por su hospitalidad.

Al señor Luis Erasmo Posadas Mota por guiarnos en el área de estudio para la recolección de muestras, además por la hospitalidad brindada. A la M. C. Ana Bertha por sus consejos, así como Carlos Arturo, Jesús Pérez, Oseyner Ruíz, Yarely Vidal, Lupita Rivas y Bernabé por ayudarme en la salida a campo para la recolección de muestras para este estudio.

A mis compañeros y amigos Blanca, Marisol, Rocío, Alejandro, Santiago, Ángel Lara, Sally, gracias por lo momentos vividos durante nuestra estancia en la Universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Hipótesis.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Pinos piñoneros	4
2.1.1 Antecedentes de los pinos piñoneros.....	4
2.1.2 Clasificación de los pinos piñoneros.....	5
2.1.3 Distribución de los pinos piñoneros	5
2.2 Descripción de las especies de estudio.....	7
2.2.1 <i>Pinus nelsonii</i> Shaw	7
2.2.2 <i>Pinus pinceana</i> Gordon.....	8
2.3 Crecimiento de árboles.....	8
2.3.1 Crecimiento en diámetro	9
2.4 Anillos de crecimiento.....	10
2.4.1 Formación de anillos de crecimiento	10
2.4.2 Árboles con y sin sensibilidad	10
2.5 Evaluación del crecimiento.....	11
2.5.1 Taladro de Pressler.....	11
2.5.2 Estimación del crecimiento con técnicas dendrocronológicas	12
2.5.3 Modelos de crecimiento	12
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Descripción del área de estudio	14
3.1.1 Localización	14
3.1.2 Fisiografía	15
3.1.3 Hidrología.....	15

3.1.4	Clima.....	15
3.1.5	Vegetación	15
3.2	Diseño de muestreo y colecta de muestras	16
3.3	Preparación de muestras	17
3.3.1	Análisis dendrocronológico	18
3.4	Crecimiento en diámetro	20
3.4.1	Selección del modelo de crecimiento	20
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1	Anillos de crecimiento.....	22
4.1.1	Crecimiento acumulado en diámetro	27
4.2	Modelos de crecimiento.....	29
4.3	Comparación de las curvas de crecimiento	32
5	CONCLUSIONES	34
6	RECOMENDACIONES.....	35
7	LITERATURA CITADA	36
8	APÉNDICE	44

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Regiones fisiográficas, distribución de la Subsección Cembroides en México, y categoría de riesgo en listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Perry, 1991; Sánchez, 2008).	6
Cuadro 2. Estudios con modelos de mejor ajuste en especies del género <i>Pinus</i> en diámetro.	13
Cuadro 3. Modelos de crecimiento utilizados para el ajuste del diámetro de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw y <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	21
Cuadro 4. Resumen de las series ajustadas por el programa COFECHA.	23
Cuadro 5. Resumen comparativo de los resultados obtenidos por COFECHA para los parámetros de correlación entre series y sensibilidad promedio.	23
Cuadro 6. Estadísticos de ajuste de los modelos en relación edad-diámetro acumulado de las especies <i>Pinus nelsonii</i> Shaw y <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	29

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se presentan las poblaciones naturales de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw y <i>Pinus pinceana</i> Gordon en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	14
Figura 2. Distribución del arbolado seleccionado, para el muestreo en diferente exposición en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	16
Figura 3. Extracción de muestras (núcleos de crecimiento), A) Extracción de muestra en un lado de la pendiente, B) Extracción de muestra en un área plana.	17
Figura 4. Fechado y medición de muestras, A) Seccionado y comparación cruzada entre la muestra A y B para el fechado; B) Medición de ancho de anillo con el equipo dendrocronológico.	20
Figura 5. Años en que presentan anillos perdidos en las muestras de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw y <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	24
Figura 6. Muestra representativa de los anillos de crecimiento, donde el punto medio indica una década, dos puntos alineados representan microanillos, la línea en diagonal representa un anillo falso, las flechas rojas indican los años 2009 y 2012.	24
Figura 7. Series individuales de ancho de anillo A) Series de <i>P. nelsonii</i> Shaw y serie media; B) series de <i>P. pinceana</i> Gordon y serie media.	26
Figura 8. Series medias del ancho de anillo mostrando una sincronía con valores altos y bajo de acuerdo a la media.	27
Figura 9. Tendencia del crecimiento acumulado en diámetro de los árboles (n=27) de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	28

Figura 10. Tendencia de crecimiento acumulado en diámetro de los árboles (n=24) de <i>Pinceana</i> Gordon en El Realejo Guadalcázar, San Luis Potosí.	28
Figura 11. Curva de crecimiento obtenida en base al modelo Chapman-Richards para los árboles de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.....	31
Figura 12. Curva de crecimiento obtenida en base al modelo Chapman-Richards para los árboles de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	31
Figura 13. Comparación de las curvas de crecimiento a la base promedio obtenidas con base al modelo Chapman-Richards para las especies de <i>Pinus pinceana</i> Gordon y <i>Pinus nelsonii</i> Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.	32

RESUMEN

Pinus nelsonii Shaw y *Pinus pinceana* Gordon, se clasifican en la subsección Pinceana perteneciente al grupo Cembroides (pinos piñoneros), éstos se distribuyen de forma natural en zonas montañosas y áridas de la Sierra Madre Oriental, en poblaciones generalmente pequeñas y aisladas, además son consideradas como raras y están listadas bajo la categoría en peligro de extinción (P) en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. El presente estudio se realizó con el objetivo de comparar el crecimiento en diámetro a la base de dos especies asociadas *P. nelsonii* y *P. pinceana* que comparten el mismo hábitat en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí, utilizando el método de taladro de Preesler. Se colectaron 124 muestras correspondientes a 62 árboles, mediante técnicas dendrocronológicas se fecha cada muestra y a su vez se obtuvieron valores de ancho de anillo, los cuales se utilizaron para generar series de ancho de anillo y curvas de crecimiento acumulado, se ajustaron cuatro modelos de crecimiento: Schumacher, Chapman-Richards, Logístico y Gompertz, los criterios estadísticos para la selección del mejor modelo fueron los mayores valores en el coeficiente de determinación (R^2) y en el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el menor valor del cuadrado medio del error (CME).

De acuerdo a los valores obtenidos para los parámetros de correlación entre series y sensibilidad media, para *P. nelsonii* es de 0.76 y 0.58, mientras que para *P. pinceana* de 0.67 y 0.47, además presentan bajo porcentaje de anillos perdidos, que al comparar con los criterios dendrocronológicos presentan un buen potencial para estudios de dendrocronología. Por otro lado, el modelo de Chapman-Richards describe mejor la respuesta en el crecimiento en diámetro para ambas especies, la comparación de las curvas ajustadas demuestra un crecimiento igual en los primeros 25 años de edad, y posteriormente el crecimiento de *P. pinceana* es mayor.

Palabras claves: *Pinus nelsonii*, *Pinus pinceana*, ancho de anillo, sensibilidad, curvas de crecimiento,

Correo electrónico: Judith Reyes Flores jr5426013@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

El género *Pinus* ésta ampliamente distribuido en el hemisferio norte, en diversos hábitats, se extienden desde el nivel del mar hasta los 3,700 m, es el dominante de la vegetación natural en muchas regiones (Millar, 1993).

Price *et al.* (1998) mencionan que la riqueza aproximada del género *Pinus* a nivel mundial es de 111 especies, en México y América Central se localizan alrededor de 46 especies, con sus diversas formas y variedades, por lo que para facilitar la identificación del género se clasificaron en dos subgéneros: Diploxylon que son pinos duros o amarillos, y Haploxylon que corresponden a los pinos suaves o blandos (Perry, 1991).

De acuerdo con Perry (1991), el subgénero Haploxylon se divide en dos Secciones: Cembra y Paracembra esta última es mejor conocida por agrupar a especies que presentan conos en forma de rosetas, semillas grandes sin alas y comestibles, también conocidas como pinos piñoneros.

Existen pinos piñoneros que presentan un cono grande como: *Pinus maximartinezii* Rzedowski, *Pinus rzedowski* Madrigal *et* Caballero, *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon, las cuales se encuentran en la Subsección Pinceana perteneciente a la Sección Paracembra (Perry, 1991; Yáñez, 2004).

Generalmente los pinos piñoneros se distribuyen desde el Sur de Idaho, en Estados Unidos, hasta el estado de Puebla en la República Mexicana, se encuentran principalmente en climas semiáridos frecuentemente en colindancia con pastizales, matorrales xerófilos o encinares arbustivos formando amplias comunidades vegetales (Rzedowski, 1983).

Los pinos piñoneros tienen un alto grado de endemismo, actualmente existen 10 taxones endémicos en México, con distribución limitada los cuales presentan rangos de hábitat muy pequeños o poblaciones aisladas, como: *Pinus culminicola* Andersen *et* Beaman, *Pinus johannis* M-F Robert, *P. maximartinezii*, *P. nelsonii*, y *P. pinceana* con la excepción de *Pinus cembroides* Zucc, que tiene una distribución más amplia (Lanner, 1981).

La especie *Pinus nelsonii* tiene una distribución geográfica limitada ya que solamente se conocen nueve poblaciones distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, mientras que la especie de *Pinus pinceana* también se encuentra limitada y se conocen dieciséis poblaciones las cuales están distribuidas en los estados de Nuevo León, Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro (Martínez, 1948; Perry, 1991; Ledig *et al.*, 2001).

Estas especies están sufriendo una disminución en su población, debido a la alteración de su hábitat, por que inicialmente las especies se encontraban sujetas a protección especial (Pr) en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, (SEMARNAT, 2001) actualmente su estado ha pasado a ser más crítico, enlistadas en la Norma Oficial Mexicana, (NOM-059-SEMARNAT-2010) bajo la categoría en peligro de extinción (P), (SEMARNAT, 2010). Además, están enlistadas por la Unión Internacional para conservación de la naturaleza y los recursos naturales (IUCN, por sus siglas en inglés), *Pinus nelsonii* como vulnerable (VU), y *Pinus pinceana* bajo riesgo o casi amenazada (LR/NT) (IUCN, 2019), ya que estas especies son de gran importancia ecológica, económica y social; influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, además de proporcionar hábitat son fuente de alimento para la fauna silvestre (García y González, 2003).

La mayoría de los estudios sobre crecimiento se han realizado preferentemente en especies de importancia económica del género *Pinus*, evaluando principalmente la calidad del sitio, así como el análisis de crecimiento o incremento (Monrroy, 1996; Aguilar, 1997). Existen diferentes métodos de evaluación ampliamente utilizados para estimar el crecimiento o incremento de especies forestales dentro de los más utilizados se encuentran el método de análisis troncal y el método de taladro de Pressler, además existen técnicas dendrocronológicas que ha permitido estudiar las distintas relaciones entre el crecimiento con la anatomía del árbol (Klepac, 1976; Fritts, 1976).

La finalidad de este trabajo fue analizar el crecimiento de los árboles de pino piñonero, siendo estas especies de lento crecimiento se trabajó con técnicas

dendrocronológicas y así observar y registrar la respuesta del crecimiento en un tiempo determinado, se llevó a cabo a través de la lectura de anillos, con la información obtenida se definió la edad de los árboles de *P. nelsonii* y *P. pinceana* que comparten el mismo hábitat en una localidad de estudio.

1.1 Objetivo General

Comparar el crecimiento en diámetro a la base de *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* en el ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí a través del desarrollo de curvas de crecimiento.

1.2 Objetivos específicos

Fechar los anillos de crecimiento y generar series de ancho de anillo para las especies de *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* del ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

Desarrollar curvas de crecimiento acumulado en diámetro a la base para los árboles de las especies *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon.

Seleccionar el mejor modelo que se ajuste al crecimiento del diámetro a la base de las especies de *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana*.

Comparar las curvas de crecimiento en diámetro a la base para 27 árboles de *Pinus nelsonii* y 24 árboles de *Pinus pinceana* del Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

1.3 Hipótesis

Ho: El crecimiento en diámetro a la base no presenta diferencias entre las especies *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

Ha: El crecimiento en diámetro a la base presenta diferencias entre las especies *Pinus nelsonii* y *Pinus pinceana* en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pinos piñoneros

2.1.1 Antecedentes de los pinos piñoneros

México posee la mayor diversidad de pinos, éstos comenzaron a clasificarse hace poco más de 150 años, siendo el primer pino en ser clasificado el piñonero común, denominado *Pinus cembroides* por Zuccarini en 1832, a partir de este momento varios autores europeos y norteamericanos comenzaron a clasificar nuevas especies del género *Pinus* (Martínez, 1948).

El género *Pinus* es uno de los más grandes en el mundo, antes de que México y Centro América, contaran con el mayor número de especies, éstos tuvieron su origen en el norte de Asia en la Era Mesozoica, Lanner (1981) menciona que una de las rutas migratorias para llegar al hemisferio norte, fue a través del estrecho de Bering, aquí se distribuyeron y habitaron ampliamente, en lo que hoy se conoce como Canadá y Estados Unidos (Perry,1991).

Los cambios climáticos durante las glaciaciones que se presentaron en el Pleistoceno ocasionaron la especiación del género *Pinus*, además de influir en su distribución (Millar, 1998; Richardson y Rundel, 1998), esta fue la razón por la que emigraran desde Estados Unidos a México, a través de las Sierra Madre Occidental y Oriental, hasta el Eje Neovolcánico Transversal, este sirvió como punto de encuentro y dispersión de los pinos provenientes del norte (Eguiluz, 1985).

Lanner (1981), menciona que entre los pinos que emigraron al territorio mexicano se encontraban algunos miembros del grupo de los pinos suaves (pinos de cinco agujas y madera suave), y que es probable que los piñoneros sean descendientes de un pino similar, ya que algunos cumplen estas características como: *P. culminicola*, *Pinus juarezensis* Lanner, y *P. maximartinezii*.

Axelrod (1958) indica en su publicación la Geoflora Madro-Terciaria que, debido a los cambios bruscos de temperatura ocurridos en el Mioceno en México, gran parte de la vegetación tuvo que evolucionar o adaptarse a sequias muy extensas, entre ellas el ancestro de los pinos piñoneros, que desarrolló un tronco corto, su crecimiento se volvió lento y el consumo de agua lo usaba con moderación.

2.1.2 Clasificación de los pinos piñoneros

Los pinos en general se agrupan en dos principales Subgéneros; Haploxyton pinos blandos o blancos y Diploxyton pinos duros o amarillos (Martínez, 1948; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997).

A los pinos que presentan una semilla grande sin ala y comestible se conocen como pinos piñoneros en Norte América y piñoneros en México, son árboles pequeños de 5 a 15 m de altura, presentan ramas lisas y frecuentemente delgadas, las hojas nacen en fascículos de una a cinco, en su mayoría son cortas y rígidas, de acuerdo a estas características se clasifican en el Subgénero Haploxyton, que se divide en la Subsección Cembroides, aquí están clasificadas once especies y una subespecie y la Subsección Pinceana, que se caracteriza por tener piñoneros de cono grande, generalmente catalogados como raros, aquí se clasifican cuatro especies las cuales tienen características bien definidas, en total se encuentran registradas 16 especies de piñoneros (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997; Yáñez, 2004).

Según Yáñez (2004), la subsección Cembroides es monofilética, además de que la subsección Pinceana es parafilética indicando que no es un grupo natural, y que existe la teoría de que las especies *P. maximartinezii*, *P. rzedowski*, *P. nelsonii* y *P. pinceana* son taxa relictuales, con distribución actual muy limitada, además menciona que *P. nelsonii* es muy distinto junto a *P. pinceana* por presentar un tipo de cono más primitivo.

2.1.3 Distribución de los pinos piñoneros

Uno de los grupos con mayor presencia en México, es el de los piñoneros éstos se distribuyen desde el sur de Idaho, Estados Unidos hasta el estado de Puebla, México, actualmente existen 16 especies de piñoneros (Perry, 1991; Malusa, 1992).

Eguiluz (1985) y Sánchez (2008), indican que los pinos se distribuyen en cinco regiones principales para México, Region I, Baja California y Baja California Sur; Región II, Sierra Madre Occidental: Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit,

Sinaloa, Sonora y Zacatecas; Región III, Sierra Madre Oriental: Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas; Region IV, Faja Volcánica Transmexicana: Aguascalientes, Colima, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz; Región V, Sierra Madre del Sur, Macizo de Oaxaca, Sierra de San Cristóbal, Sierra de Oaxaca y Península de Yucatán.

La mayor presencia de los pinos piñoneros se encuentra en las regiones II y III (Cuadro 1), además de ser consideradas como el segundo centro de diversificación y evolución más importante para México (Farjon, 1996; Sánchez, 2008). Así mismo la región III posee la mayor cantidad de especies, así como de endemismos ya que existen especies catalogadas como raras y clasificadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo alguna categoría de riesgo (SEMARNAT, 2010).

Cuadro 1. Regiones fisiográficas, distribución de la Subsección *Cembroides* en México, y categoría de riesgo en listada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Perry, 1991; Sánchez, 2008).

Subsección <i>Cembroides</i>	Distribución por región					E	C
	I	II	III	IV	V		
<i>P. catarinae</i> M-F Robert-Passini.	1	0	0	0	0		
<i>P. cembroides</i> ssp. <i>lagunae</i> (Rob -Pass.) D.K. Bailey.	1	0	0	0	0	*	Pr
<i>P. cembroides</i> ssp. <i>orizabensis</i> D.K. Bailey.	0	0	0	1	0		
<i>P. cembroides</i> Zucc.	1	1	1	1	0		
<i>P. culminicola</i> Andresen et Beaman.	0	0	1	0	0	*	P
<i>P. discolor</i> D.K. Bailey et Hawksw.	0	1	1	0	0		
<i>P. edulis</i> Engelm.	0	1	0	0	0		
<i>P. johannis</i> Rob.-Pass.	0	1	1	0	0	*	Pr
<i>P. juarezensis</i> Lanner.	1	0	0	0	0		
<i>P. maximartinezii</i> Rzed.	0	1	0	0	0	*	P
<i>P. monophylla</i> Torr. et Frém.	1	0	0	0	0		Pr
<i>P. nelsonii</i> Shaw.	0	0	1	0	0	*	P
<i>P. pinceana</i> Gord.	0	1	1	1	0	*	P
<i>P. quadrifolia</i> Parl. ex Sudw.	1	0	0	0	0		Pr
<i>P. remota</i> (Little) D.K. Bailey et Hawksw.	0	1	1	0	0	*	Pr
<i>P. rzedowskii</i> Madrigal et Caballer.	0	0	0	1	0	*	P

* Taxa con endemismo (E) en México, categoría de riesgo (C) según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: (P) en Peligro de Extinción (Pr) Sujeta a protección especial, (1) Presentes, (0) ausentes (Cuadro modificado de Sánchez, (2008)).

2.2 Descripción de las especies de estudio

2.2.1 *Pinus nelsonii* Shaw

Pinus nelsonii, es un pino perteneciente al grupo de los piñoneros, también se le conoce con los nombres de pino prieto, piñón colorado y piñón duro, esta especie fue descrita por George Russell Shaw durante la época de 1904-1905 (Martínez, 1948).

Es un árbol pequeño de 5 a 10 metros de alto, y con tronco de 10 a 30 cm de diámetro, la copa es baja, con ramas alargadas y corteza fina color blanco grisáceo de textura suave cuando el árbol es joven, mientras que en árboles viejos el color es gris oscuro y con fisuras formando placas rectangulares (Shaw, 1909; Martínez, 1948 y Perry, 1991).

Las hojas (acículas) miden 5 a 10 cm de largo de color verde grisáceo, se encuentran en grupos de tres las cuales permanecen unidas, el fascículo es pardusco persistente, esta característica es única mide de 0.5 a 0.8 cm de largo (Zavarín y Karel, 1987).

Los conos femeninos se desarrollan solos o en pares, poseen un pedúnculo curvado cuya longitud va de 3 a 6 cm, son de forma cilíndrica de 8 a 15 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho, de color naranja amarillento cuando maduran y las semillas miden de 10 a 15 mm de largo y no presentan ala (Suzán, 1985).

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 elevaciones 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).

Según Perry (1991), la distribución de *Pinus nelsonii* se limita a la Sierra Madre Occidental, en zonas áridas o semiáridas generalmente a un intervalo altitudinal de 1,800 a 3,100 m en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Tamaulipas (Zavarín y Karel, 1987).

2.2.2 *Pinus pinceana* Gordon

Pinus pinceana también pertenece al llamado grupo de los pinos piñoneros, es conocido como pino llorón, pino blanco, fue descrito por George Gordon, 1858.

Es un árbol pequeño, que alcanza de 4 a 10 m de altura, la corteza en árboles maduros delgada y en árboles jóvenes es delgada suave y de color grisáceo, la copa es gruesa irregularmente redondeada, las ramas son largas, flexibles colgantes, a menudo llegan casi al suelo, en estado juvenil tiene una paraciencia arbustiva (Perry, 1991).

Las hojas (acículas) se presentan en fascículos de 3, ocasionalmente 4, miden de 6 a 16 cm de longitud muy delgadas de color verde grisáceo, las vainas de las acículas se presentan en rosetas y posteriormente deducidas (Farjon *et al.*, 1997).

Los conos son ovalados de 6 a 9 cm de longitud, con pedúnculo, colgantes simétricos, de color naranja brillante, dehiscentes y tempranamente deducidos, el pedúnculo no cae con el cono, la semilla de 10 a 12 mm de longitud y de 5 a 6 mm de ancho, la testa es gruesa y dura de color café a café amarillento (Shaw, 1909; Perry, 1991).

Esta especie tiene un limitado rango de distribución se presenta en zonas montañosas y colinas áridas donde generalmente no crecen los pinos (Perry, 1991). El rango altitudinal donde habita varía entre 1,500 a 2,300 m, la precipitación es de 300 a 400 mm anuales y la temperatura promedio de 18 °C (Farjon *et al.*, 1997).

En cuanto a su distribución se han encontrado en colinas secas y rocosas en montañas de la Sierra Madre Occidental en los estados de Coahuila, Nuevo León, y San Luis Potosí, además de Zacatecas, Hidalgo y Querétaro (Perry, 1991; Santillán *et al.*, 2010).

2.3 Crecimiento de árboles

El crecimiento de una planta se da en dos puntos específicos: en la raíz que se conoce como crecimiento primario, y en el tallo, necesita engrosar para

sostenerse y evitar que se doblen o caigan este sería un crecimiento secundario (Klepac, 1976).

El crecimiento de un árbol está influenciado principalmente por sus características genéticas y su interacción con el ambiente: el suelo y los factores climáticos, de esta manera aumenta sus dimensiones en área basal, altura, diámetro y volumen, estas variables analizadas en un periodo de tiempo y dan como resultado el incremento (Klepac, 1976).

En las coníferas el crecimiento comienza en primavera y verano, pero disminuye en invierno; en los pinos piñoneros, el crecimiento es extremadamente lento ya que se encuentran en zonas áridas y están limitadas por el riguroso cambio de temperatura además de la carencia de agua por lo que su crecimiento tiende a ser menor comparado con otros pinos (Keeley y Zedler, 1998).

2.3.1 Crecimiento en diámetro

El aumento en el tronco de un árbol, se refiere al crecimiento en diámetro; este crecimiento está determinado en un período de tiempo por lo que se considera como crecimiento radial, también se le denomina crecimiento secundario y está influenciado principalmente por su distribución espacial (Hocker, 1984).

El crecimiento del diámetro está influenciado por la actividad del cambium vascular que está compuesto por dos capas de células; la interna que corresponde al xilema que se encarga de crear el tejido que se convertirá en madera y la intermedia llamada floema, tiene dos funciones principales: por un lado produce la corteza hacia afuera del árbol, y por otro (en el lado interno) esta capa de células genera tejido celulósico, de esta forma se explica un crecimiento diferente a lo largo del árbol (Daniel *et al.*, 1982; Brienen y Zuidema, 2006).

El crecimiento radial se atribuye al incremento en la masa celular alrededor del meristemo lateral del cambium, el cual se produce cada año este comienza en la primera parte de la primavera y termina hasta la última parte del verano, este crecimiento puede variar durante este periodo, y depende de la cantidad de reservas acumuladas por el árbol durante el año (Hocker, 1984).

2.4 Anillos de crecimiento

2.4.1 Formación de anillos de crecimiento

Klepac (1976) definió a los anillos de crecimiento como marcas en forma de círculo, que se van formando anualmente en un árbol, estas marcas se pueden apreciar con mayor claridad, al hacer un corte transversal en él árbol.

La formación de los anillos son consecuencia del crecimiento radial (aumento de diámetro), éste inicia con la hidratación de células que se encuentran en el cambium, estas células en su mayoría se identifican como traqueidas, que se producen a diferentes tasas, de acuerdo con el estado fisiológico del árbol o a la disponibilidad de factores ambientales (Fritts, 1976).

Un árbol produce anualmente un anillo de crecimiento, en las coníferas de clima templado es posible diferenciar dos bandas con características morfológicas y estructuras bien definidas, la primera compuesta de traqueidas o madera temprana (anillos claros) que tienen diámetros grandes y paredes delgadas, producidas durante la primavera, y la segunda traqueidas de madera tardía (anillos oscuros), estas son de menor lumen con paredes más lignificadas y gruesas éstas se forman durante el verano y otoño (Gemmell, 1969; Klepac, 1976).

Klepac (1976) señala que la formación de los anillos no sólo depende del árbol, también están influenciados por las condiciones ecológicas, las cuales varían a través del ciclo de vida de la planta, esto ocasiona la aparición de más de un anillo en un año; o bien no presentar anillos con esta periodicidad, para identificar estas situaciones Stokes y Smiley (1996) definieron a estos anillos como falsos, perdidos o ausentes.

2.4.2 Árboles con y sin sensibilidad

Las coníferas presentan una marcación más visible de los anillos de crecimiento, que dependen principalmente de los cambios ambientales que se presenten, de esta manera los crecimientos anuales pueden variar de tamaño, por lo que se pueden diferenciar dos tipos de árboles “sensibles” y “complacientes” (Fritts, 1976).

Al observar una muestra extraída del árbol, los crecimientos anuales se pueden presentar en dos formas: la primera que haya una alta variación en el crecimiento de los anillos (anchos y estrechos) si se cumple esta característica se considera que es un “árbol sensible”; la segunda que los anillos mantengan un crecimiento uniforme es decir que en promedio tendría el mismo tamaño por lo que a esta condición se le conoce como “árbol complaciente” (Stokes y Smiley, 1996).

2.5 Evaluación del crecimiento

De acuerdo con Klepac (1976) los métodos para determinar el crecimiento datan desde hace poco más de 100 años, y existen métodos directos e indirectos para la evaluación del crecimiento en los árboles, éstos se clasifican en cuatro grupos; tablas de producción, el método de control, método del taladro de Pressler y el método de análisis troncal.

2.5.1 Taladro de Pressler

El método de evaluación, con el taladro de Pressler es un método directo que consiste en perforar al árbol en ángulo recto a una altura de 1.3 m sobre el suelo y extraer un núcleo de crecimiento, este método se usa principalmente en especies que presentan anillos de crecimiento visibles como las coníferas, de otra forma si los anillos no son visibles este método pierde su importancia (Klepac, 1976; Flores, 1983).

Klepac (1976) menciona que en la práctica es suficiente obtener una muestra de cada árbol, pero si se quiere determinar el incremento con mayor exactitud, lo más conveniente es extraer de dos o tres muestras (virutas) por árbol ya que el ancho de los anillos no es igual en todos los lados del árbol.

Para la evaluación de las muestras se pueden distinguir dos formas: la primera es contar los últimos anillos para obtener el tiempo de paso y la segunda consiste en medir todos los anillos a una longitud determinada de esta forma se obtiene el incremento en diámetro del árbol (Klepac, 1976).

2.5.2 Estimación del crecimiento con técnicas dendrocronológicas

El crecimiento de un árbol se puede obtener mediante técnicas dendrocronológicas, realizando la medición del ancho de los anillos de crecimiento presentes en muestras como rodajas o núcleos (virutas), de esta manera se calcula y verifica el crecimiento en diámetro también permite evaluar la altura, de acuerdo con Chagas y García (2002), Brienen y Zuidema (2006), así como Carrillo (2008), quienes mencionan que de acuerdo a la cantidad de anillos presentes en una muestra se puede conocer o estudiar el crecimiento del árbol en diferentes periodos de tiempo.

El incremento de los anillos o crecimiento acumulado además de proporcionar datos acerca del ritmo de crecimiento en diámetro y en altura, también permite obtener información de la calidad de sitio y de la influencia de la exposición solar, entre otros (Meza y Mora, 2003).

2.5.3 Modelos de crecimiento

Los modelos son una forma de caracterizar un sistema o parte de un sistema, ofrecen de manera concisa, información relevante sobre las características del crecimiento y respuesta de las especies de árboles en diferentes condiciones de crecimiento, éstos pueden desarrollarse en forma de tablas de producción, funciones de crecimiento simples y sofisticadas o múltiples ecuaciones (Prodan *et al.*, 1997). Generalmente el término modelo de crecimiento, se usa para hacer referencia a un sistema de ecuaciones con una predicción del crecimiento y producción de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones (Vanclay, 1994).

Los modelos que más se emplean en la determinación del crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen son los del tipo no lineal, como: Chapman-Richards, Gompertz, Logístico y Schumacher (Cuadro 2) los resultados obtenidos de los modelos se grafican con base a su edad, la curva definida comúnmente se llama curva de crecimiento que ha demostrado tener el mejor ajuste, los cuales permiten para el caso de coníferas, estimaciones satisfactorias.

Las curvas de crecimiento se parecen a una forma sigmoidea o forma de “S”, distinguiendo a la etapa juvenil, la edad madura y la edad senil o vieja, cada una mantiene un ritmo de crecimiento característico, una de las curvas de mayor interés es la curva acumulativa donde se muestra que en los primeros años el crecimiento es lento, después incrementa hasta un máximo y decrece (Prodan *et al.*, 1997).

Cuadro 2. Estudios con modelos de mejor ajuste en especies del género *Pinus* en diámetro.

Modelo	Especies	Autor
Chapman-Richards	<i>Pinus pseudostrobus</i> , <i>P. oaxacana</i> , <i>P. radiata</i> y <i>P. montezumae</i>	Arteaga (2000)
	<i>P. patula</i>	Montiel y Zamudio (2007)
	<i>P. johannis</i>	Salmerón (2015)
	<i>P. nelsonii</i>	Arredondo (2018)
Shumacher	<i>P. estevezii</i>	González (2000)
	<i>P. duranguensis</i>	Monárrez (2003)
Gompertz	<i>P. herrerae</i>	Hernández (2003)
	<i>P. patula</i> , <i>P. pseudostrobus</i> y <i>P. ayacahuite</i>	Calvillo (2005)
Logístico	<i>P. rudis</i>	González (1997)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización

El área se localiza en la parte noreste de San Luis Potosí en el municipio de Guadalcázar, específicamente en el Ejido El Realejo en las coordenadas geográficas 22°45′-22°39″ latitud Norte y 100°27′-100°22′, longitud oeste, a una elevación de 2020 msnm (Figura 1). Colinda al Norte con los Ejido Núñez y Nexos, al Sur con el municipio de Guadalcázar y al Este con los ejidos El Oro y Terrero de las Posadas (INEGI, 1998; INEGI, 2001).

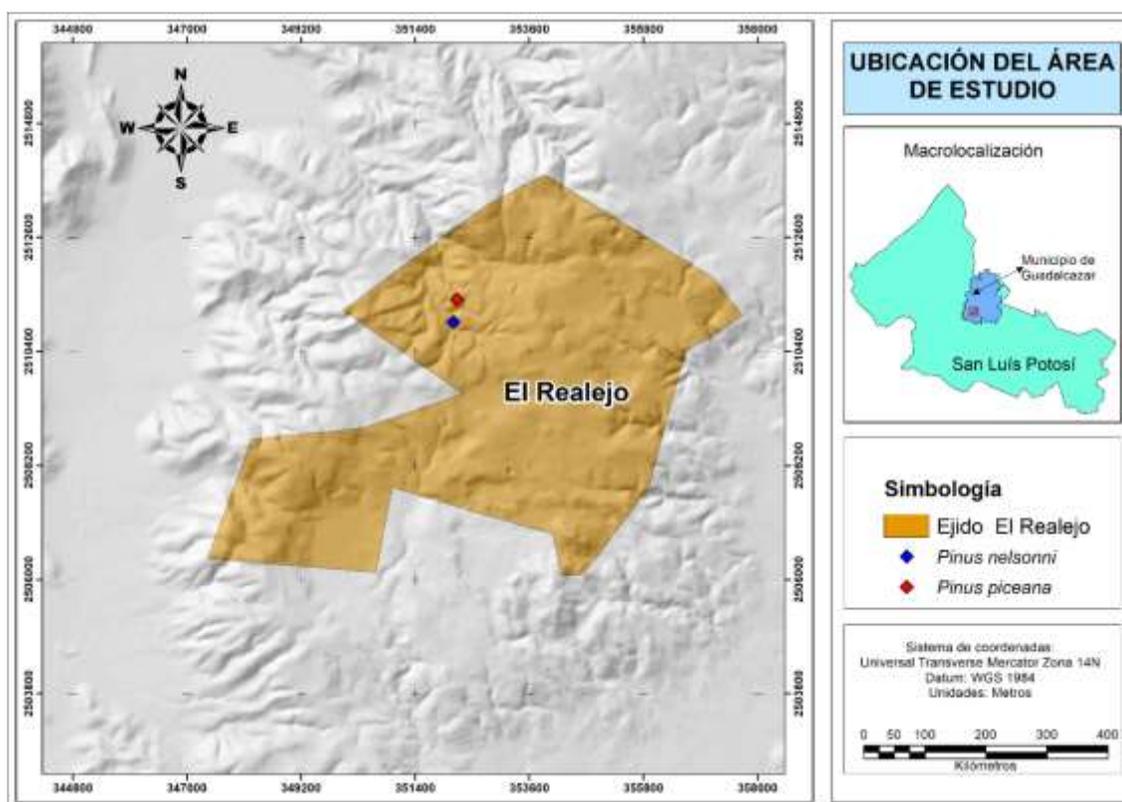


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se presentan las poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus piceana* Gordon en el Ejido El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

3.1.2 Fisiografía

El área de estudio se ubica en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, dentro de la subprovincia Sierras y Llanuras Occidentales, en el sistema de topofomas es Sierra Plegada con Llanuras (INEGI, 2001).

3.1.3 Hidrología

De acuerdo con la delimitación de la red hidrográfica (INEGI, 2010) el área de estudio se ubica en la región hidrológica, El Salado (RH-37), en la cuenca San José Los Pilares y otros (RH-37G); y en la subcuenca, Los Pilares (RH37Ga).

FIRCO (2005) realizó la delimitación a nivel nacional de las microcuencas asignado códigos que fueran más efectivos para la identificación, la microcuenca del área de estudio contiene el siguiente código 37-152-01-057, el área no presenta corrientes permanentes, solo algunas formaciones causadas por las lluvias de temporada y que van desapareciendo al término del periodo de lluvia.

3.1.4 Clima

De acuerdo con García y CONABIO (1998), la unidad climática es BS1Kw que corresponde al tipo semiseco templado, temperatura media anual entre 12 y 18 °C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18 °C, temperatura del mes más caliente 22 °C con un régimen de lluvias en verano, también se pueden presentar en invierno, el promedio de precipitación anual es de 400 mm.

3.1.5 Vegetación

El área de estudio presenta un tipo de vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino y a sus alrededores, matorral desértico rosetófilo, bosque de encino y pastizal inducido, se encuentran algunas especies representativas de los géneros *Yucca*, *Agave*, *Opuntia*, *Dasyilirion*, entre otras que llegan hacer abundantes (INEGI, 2017).

3.2 Diseño de muestreo y colecta de muestras

El área de estudio tiene dos exposiciones norte y sur, en ambas se recolectaron muestras utilizando un muestreo selectivo (Figura 2), se seleccionaron 31 árboles con características fenotípicas determinadas, las cuales consisten en: árboles sanos libres de plagas y enfermedades, tener el tronco lo más sólido posible, esto garantizará una muestra completa, diámetro mayor a 10 cm, y la distancia entre árbol de la misma especie mayor a 100 m.

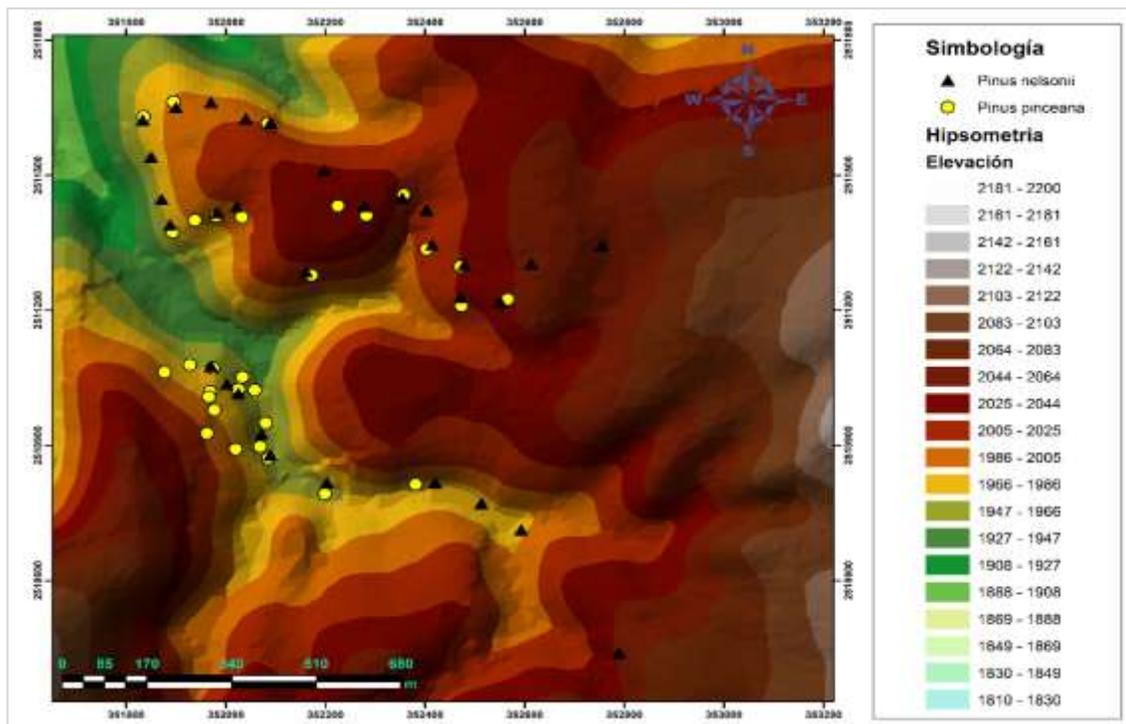


Figura 2. Distribución del arbolado seleccionado, para el muestreo en diferente exposición en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

La colecta de muestras se realizó en marzo de 2018, en su mayoría los árboles seleccionados se localizan a diferentes grados de pendiente y algunos en partes planas, se les extrajo de una a dos muestras por individuo (núcleos de crecimiento o virutas), atravesando completamente la base del árbol con el taladro de Preesler.

Las muestras se extrajeron en perpendicular a la dirección de la pendiente del terreno, evitando madera de tensión y compresión, lo más cercano a la médula,

y para los árboles localizados en partes planas del terreno la extracción de la muestra se obtuvo en la sección que no presentara ningún daño (Figura 3).

Una vez extraídas las muestras, se colocaron en popotes de plástico ya que son muy frágiles, de esta manera se facilita el manejo evitando problemas como: ruptura, pudrición por hongo, torceduras o deformación, cada popote se etiquetó colocando las iniciales del nombre del ejido (RE), especies (N, P), número de árbol (01), y fecha de colecta (ejemplo: REN-01-18/03/18).

Además, se evaluaron las siguientes variables dasométricas: diámetro a la base (DB), diámetro a la altura del pecho (DAP), diámetro de copa (DC), altura (H) y grosor de corteza). También se registró la exposición, la pendiente (%), y se georreferenció cada árbol con un GPS.



Figura 3. Extracción de muestras (núcleos de crecimiento), A) Extracción de muestra en un lado de la pendiente, B) Extracción de muestra en un área plana.

3.3 Preparación de muestras

Se colectaron un total de 62 muestras, las cuales se llevaron al Laboratorio de Ingeniería Forestal del Departamento Forestal de la UAAAN, cuando las virutas perdieron la suficiente humedad, se montaron sobre una moldura de madera, acorde a la posición de los anillos donde se mostraron más visibles, se adhirieron con pegamento y se sujetaron con hilo.

Las muestras se dejaron reposar una semana, posteriormente cuando estuvieron firmes, en la moldura se les retiró el hilo, y se procedió a pulirlas con lijas de diferentes granos de la más gruesa a la más fina (120-1200) hasta lograr una buena visibilidad de los anillos.

En el laboratorio de Dendrocronología CENID RASPA del INIFAP, en Gómez Palacio, Durango, se realizó un segundo procedimiento, que permitió una mejor manipulación de las muestras, se lijaron por un costado además se seccionaron por el centro así se obtuvieron dos muestras por árbol las cuales se identificaron como A y B de esta manera se aumentó el número de muestras de 62 a 124.

Las muestras de *P. pinceana* presentaron algunos anillos con resina que evitaba la visibilidad de los mismos, para eliminar parte de la resina se aplicó alcohol y posteriormente se volvió a lijar, en la mayoría de las muestras de *P. nelsonii* los anillos eran poco visibles por lo que se les aplicó una capa de aceite (gotas de seda) en repetidas ocasiones.

3.3.1 Análisis dendrocronológico

Para determinar el año exacto en el cual se formó cada anillo se realizó el pre-fechado donde se observó cada muestra en el estereoscopio, haciendo un conteo de anillos iniciando con el más cercano al centro, marcando cada década con un punto, cincuenta años con dos puntos alineados verticalmente, cada cien años tres puntos alineados verticalmente, además este procedimiento permitió identificar anillos pequeños, microanillos o anillos perdidos, éstos se identificaron colocando dos puntos alternos alineados en ángulo y anillos falsos o dobles se señalaron con una línea en diagonal (Stokes y Smiley, 1996).

Para detectar y corregir la falta de sincronía en cada una de las muestras se realizó una comparación cruzada, entre las muestras A y B, las cuales se emparejaron anillo por anillo (Figura 4A), cuando se presentaba un anillo ausente se colocaron dos puntos alternos alineados en ángulo, además se compararon las

muestras entre sí de la misma especie, de esta manera se obtendría un patrón de anillos de crecimiento que coincidiera con todas las muestras.

Una vez identificadas las anomalías (anillos falsos y perdidos), se asignaron las fechas correspondientes cada diez, cincuenta y cien años, iniciando del anillo más interno al anillo más externo.

De acuerdo al pre-fechado, la medición de los anillos anuales, se realizó colocando cada muestra en la platina de fase deslizante, apoyada de un estereoscopio con una retícula graduada (esta facilita la observación de la madera temprana y la madera tardía), conectado al sistema de medición Velmex con un micrómetro de precisión 0.001 mm, todo el equipo está vinculado a una computadora que contiene el software de medición MeasureJ2X para Windows (Figura 4 B) (Robinson y Evans, 1980). El programa generó una base de datos, con las medidas de cada serie de anillo total, madera temprana y madera tardía.

Para determinar si el prefechado y la medición de anillos son correctos se verificó con el programa COFECHA, este software analiza y compara las series individuales de crecimiento de cada una de las muestras, con las demás y una serie promedio o maestra, asigna valores de correlación estadísticamente significativos ($p < 0.01$) para cada muestra, por segmentos de 50 años, al comparar el crecimiento común en períodos de 50 años con una sobreposición de 25 años, además produce un resumen final de las estadísticas descriptivas para el conjunto total de los datos (Holmes, 1983).

Cabe mencionar que se descartaron algunas muestras, las cuales presentaban poca visibilidad en los anillos y tenían anillos muy juntos, también muestras que presentaban correlaciones muy bajas con relación a la serie maestra.

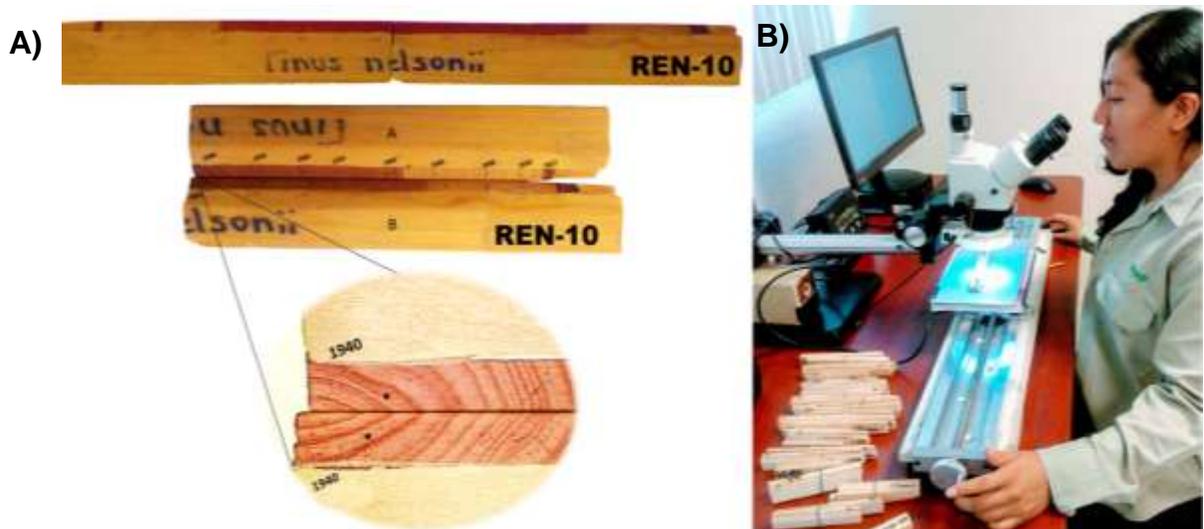


Figura 4. Fechado y medición de muestras, A) Seccionado y comparación cruzada entre la muestra A y B para el fechado; B) Medición de ancho de anillo con el equipo dendrocronológico.

3.4 Crecimiento en diámetro

3.4.1 Selección del modelo de crecimiento

Las series de ancho de anillo de cada muestra se obtuvieron expresadas en milímetros con ayuda del programa Microsoft Office Excel se transformaron en centímetros en función a su edad biológica, de esta manera se ordenaron los datos para generar series de crecimiento para cada una de las especies. Además, se calcularon los diámetros de cada árbol sin corteza, se procedió a elaborar curvas de crecimiento acumulado por año y por árbol, para determinar las respectivas tendencias de crecimiento en diámetro de las dos especies de estudio.

Para analizar mejor el crecimiento de cada especie se utilizaron cuatro modelos de crecimiento de tipo no lineal reportados por Clutter *et al.* (1983) y Sit y Poulin (1994), (Cuadro 3). Por medio del paquete estadístico SAS, se realizó el procedimiento de regresión no lineal, con el cual se estimaron los parámetros de regresión para cada modelo.

Por otro lado, para el cálculo de algunos estadísticos que no brinda el paquete SAS, se utilizaron las siguientes formulas:

$$R^2 = 1 - \frac{SS \text{ (Residual)}}{SS \text{ (Total correcto)}}$$

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{MS \text{ (Residual)}}{MS \text{ (Total correcto)}}$$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación

R^2_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado

SS = Suma de cuadrados

MS = Cuadrado medio

Cuadro 3. Modelos de crecimiento utilizados para el ajuste del diámetro de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon en El Realejo, Guadalcazar, San Luis Potosí.

Modelo	Ecuación
Chapman-Richards	$Y = a[1 - e^{-bX}]^c$
Gompertz	$Y = a(e^{-e^{b-cX}})$
Logístico	$Y = \frac{a}{1 + e^{b-cX}}$
Schumacher	$Y = e^{a+b/X}$

Dónde Y= variable de estudio; a, b, c, = parámetros estadísticos del modelo, X= edad; e=base logaritmo natural.

Los criterios para seleccionar el mejor modelo ajustado fueron que los valores de los cuadrados medios del error (CME) deberían ser los más bajos, y tener los valores más altos del coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustados (R^2_{adj}), por lo que se comparó cada modelo, además se representaron gráficamente procurando que la tendencia del crecimiento inicie a partir del origen.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Anillos de crecimiento

De un total de 124 muestras pertenecientes a 62 árboles, 31 de *P. nelsonii* y 31 de *P. pinceana*, se lograron fechar 96, las cuales representan el 77.5% del total, según Lara *et al.* (2000) usualmente solo se puede fechar del 43% al 90% del total de las muestras analizadas, el 22.5% de las muestras que no se lograron fechar, corresponden principalmente a árboles con problemas de crecimiento (períodos de supresión, daño, madera de tensión y compresión).

De las 96 muestras fechadas, 54 pertenecen a 27 árboles de *P. nelsonii* este alcanzó una serie de tiempo de 128 años (1890-2017), las 42 muestras restantes, pertenecen a 24 árboles de *P. pinceana* donde la serie de tiempo fue de 135 años (1883-2017). Los resultados obtenidos del programa COFECHA (Cuadro 4) indicaron una correlación significativa para cada especie, en *P. nelsonii* una $r = 0.759$; $p < 0.01$ mientras que para *P. pinceana* una $r = 0.671$; $p < 0.01$, superando el parámetro establecido por el programa COFECHA, el cual establece como mínima correlación significativa entre series de $r = 0.3281$ ($p < 0.01$) para asegurar un fechado exacto y calidad de respuesta (Holmes, 1983; Grisino-Mayer, 2001). Los valores más bajos se encuentran en el rango de 0.3 a 0.5, el rango típico en varios estudios se ubica entre los valores 0.6 a 0.8, el valor más alto es de 0.9 (Constante 2010).

La sensibilidad promedio, indica las diferencias relativas en el ancho de anillos, este valor varía de acuerdo a la especie y a la región, Constante (2010) de manera general indica especies muy sensibles presentan un valor de 0.65, mientras que las especies poco sensibles solo tienen un valor de 0.15, los valores obtenidos para las especies son para *P. nelsonii* de 0.579, mientras que *P. pinceana* es de 0.469, de acuerdo a estos valores se puede afirmar que ambas especies son sensibles.

Cuadro 4. Resumen de las series ajustadas por el programa COFECHA.

Especie	Muestras árboles	Muestras fechadas	Anillos observados	Correlación entre series	Sensibilidad promedio
<i>P. nelsonii</i>	62 (31)	54	3,906	0.759	0.579
<i>P. Pinceana</i>	62 (31)	42	3,037	0.671	0.469

La información obtenida de los parámetros de correlación entre series, así como sensibilidad promedio de las especies de estudio *P. nelsonii* y *P. pinceana*, presentan similitud (Cuadro 5) con algunas coníferas como: *Pseudotsuga menziesii*, para la población La Viga, en Sierra de Arteaga en Coahuila, descrita por Cerano (2004), así como de *Pinus hartwegii* en La Encantada General Zaragoza en Nuevo León descrita por Gutiérrez y Ricker (2019), y especies de pinos piñoneros *P. cembroides* en el Ejido Cuauhtémoc de la Sierra de Zapalinamé en Coahuila, descrita por Constante *et al.* (2009) y *P. pinceana* de las poblaciones San Cristóbal y Norias pertenecientes a los estados de Hidalgo y Coahuila descritas por Santillán *et al.* (2010).

Cuadro 5. Resumen comparativo de los resultados obtenidos por COFECHA para los parámetros de correlación entre series y sensibilidad promedio.

Parámetros	<i>Pseudotsuga</i> <i>menziesii</i>	<i>Pinus</i> <i>hartwegii</i>	<i>Pinus</i> <i>cembroides</i>	<i>Pinus</i> <i>pinceana</i>		Trabajo actual <i>Pinus</i> <i>nelsonii</i> <i>Pinus</i> <i>pinceana</i>	
	VIG	ENC	CUA	CRI	NOR	REA	
Correlación entre series	0.73	0.76	0.72	0.75	0.61	0.76	0.67
Sensibilidad promedio	0.284	0.410	0.309	0.560	0.530	0.580	0.470

Dónde VIG= La Viga; ENC=La Encantada; CUA= Ejido Cuauhtémoc CRI= San Cristóbal; NOR= Norias y REA=El Realejo.

Las especies de estudio presentaron un patrón de crecimiento bien definido durante el fechado, esto permitió identificar la madera temprana de la tardía, así como microanillos, anillos falsos y anillos perdidos. El total de anillos observados para *P. nelsonii* fue de 3,906 de los cuales se identificaron 34 anillos perdidos lo que

representan 0.870%, mientras que para *P. pinceana* se observaron 3,037 anillos de los cuales 18 fueron anillos perdidos, estos representan el 0.593%. Los años más representativos donde varias muestras presentan anillos perdidos fueron 1955, 1975, 2009 y 2012 estos últimos presentaron la mayor cantidad (Figura 5).

A demás durante el análisis de las muestras se determinó que 2009 y 2012 se presentaban como microanillos mismos que al ser tan pequeños en algunas muestras no se llegaron a formar lo que explica la cantidad de anillos perdidos para estas fechas (Figura 6).

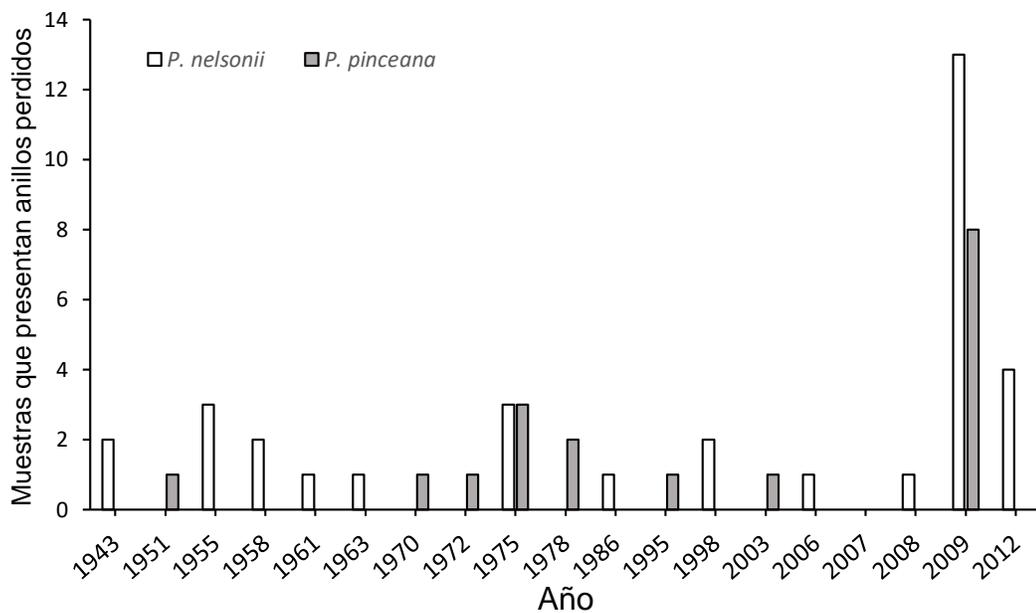


Figura 5. Años en que presentan anillos perdidos en las muestras de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

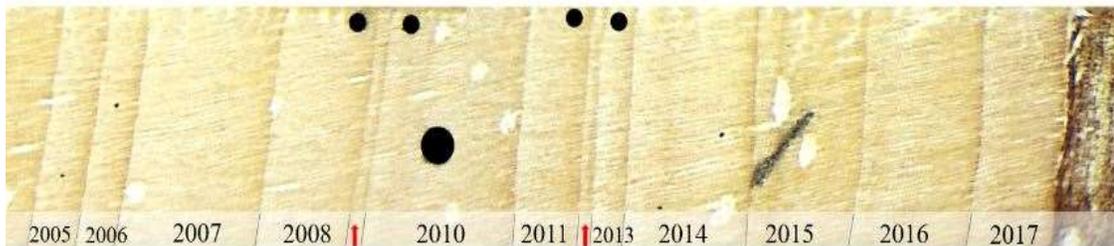


Figura 6. Muestra representativa de los anillos de crecimiento, donde el punto medio indica una década, dos puntos alineados representan microanillos, la línea en diagonal representa un anillo falso, las flechas rojas indican los años 2009 y 2012.

De acuerdo con el fechado de muestras se detectó un patrón de crecimiento bien definido, lo que indica que hay una variabilidad en el crecimiento de los anillos (anchos y angostos) por lo que se construyeron series del ancho de los anillos para ambas especies.

La serie generada para la especie de *P. nelsonii* comprende de 1890 a 2017 con un total de 54 muestras, que fueron fechadas anteriormente esta serie presenta valores en el ancho de anillo máximo de 5.77 mm, y un mínimo de 0.003 mm, además se presenta valores en cero, esto indica un anillo perdido (Figura 7A).

También se generó una serie para *P. pinceana*, la cual va de 1883 a 2017, con 42 muestras anteriormente fechas los valores del ancho de anillo van de los 5.93 mm a los 0.003 mm, también se presentaron valores en cero (Figura 7B), para entender mejor el comportamiento en el crecimiento de todas las muestras se generó una serie maestra para cada especie.

Los crecimientos del ancho de anillo encontrados en las dos especies y de acuerdo al principio de sensibilidad propuesto por Fritts (1976), tienen una alta variación en cuanto al crecimiento del anillo más grande con respecto al más pequeño, por lo que se consideran especies sensibles. Además, Martínez (1996) señala que en dendrocronología es más fácil datar especies que presenten una alta variación en el ancho de los anillos ya que se identifica con mayor rapidez un patrón de crecimiento.

Determinadas las series medias de crecimiento para cada especie se compararon esto permitió observar la tendencia en el crecimiento donde ambas capaces de alguna forma parecieran sincronizarse en el patrón de crecimiento otra razón es que comparten el mismo hábitat, se generó una media con todos los anchos de anillos la cual representa el crecimiento que tendrían los anillos si estos fueran uniformes como resultado se obtuvo valores mayores para *P. pinceana* y valores menores para *P. nelsonii* con respecto a la media, por lo que las series medias determinan la existencia de un patrón de crecimiento similar en el fuste (Figura 8).

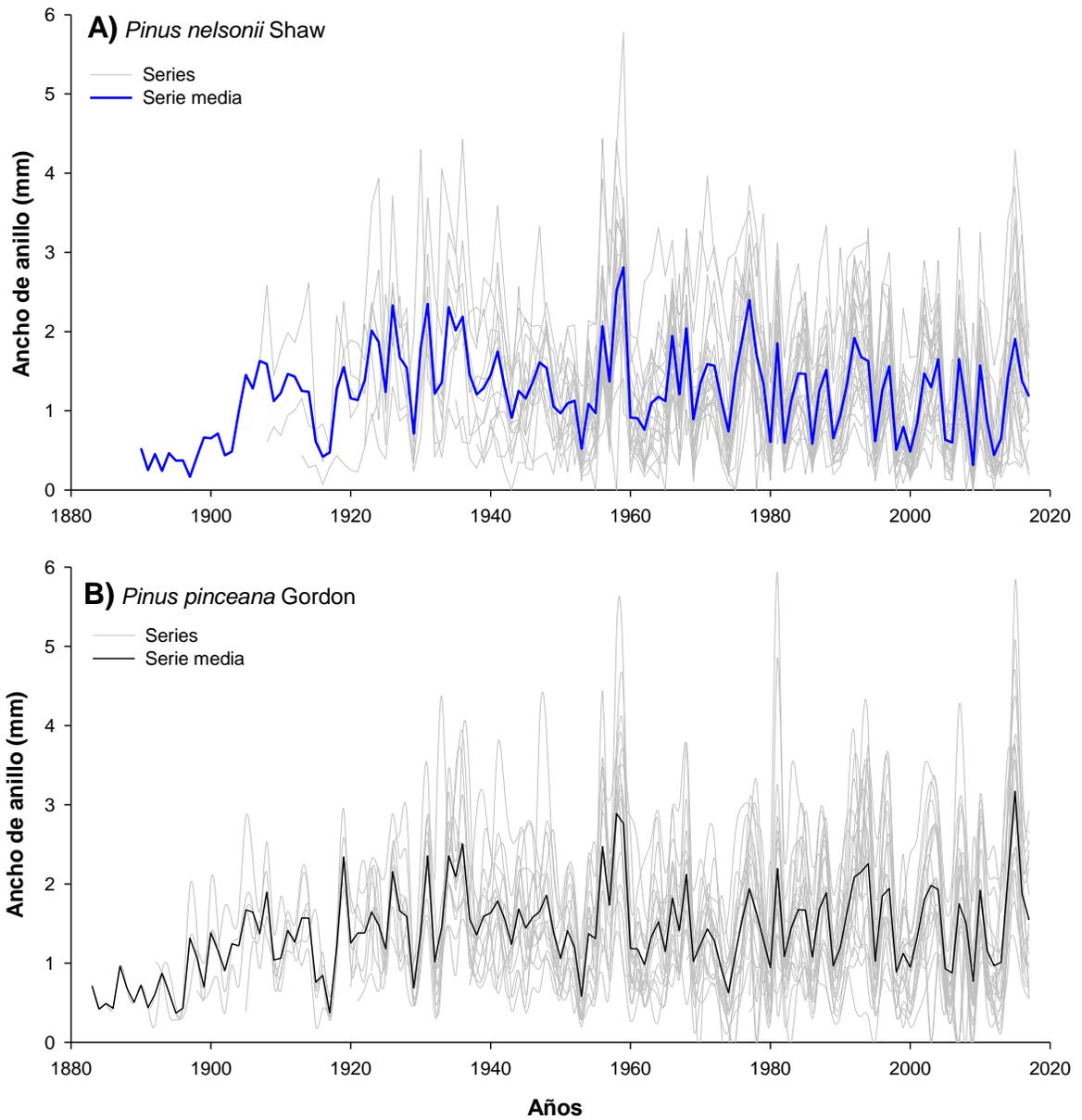


Figura 7. Series individuales de ancho de anillo A) Series de *P. nelsonii* Shaw y serie media; B) series de *P. pinceana* Gordon y serie media.

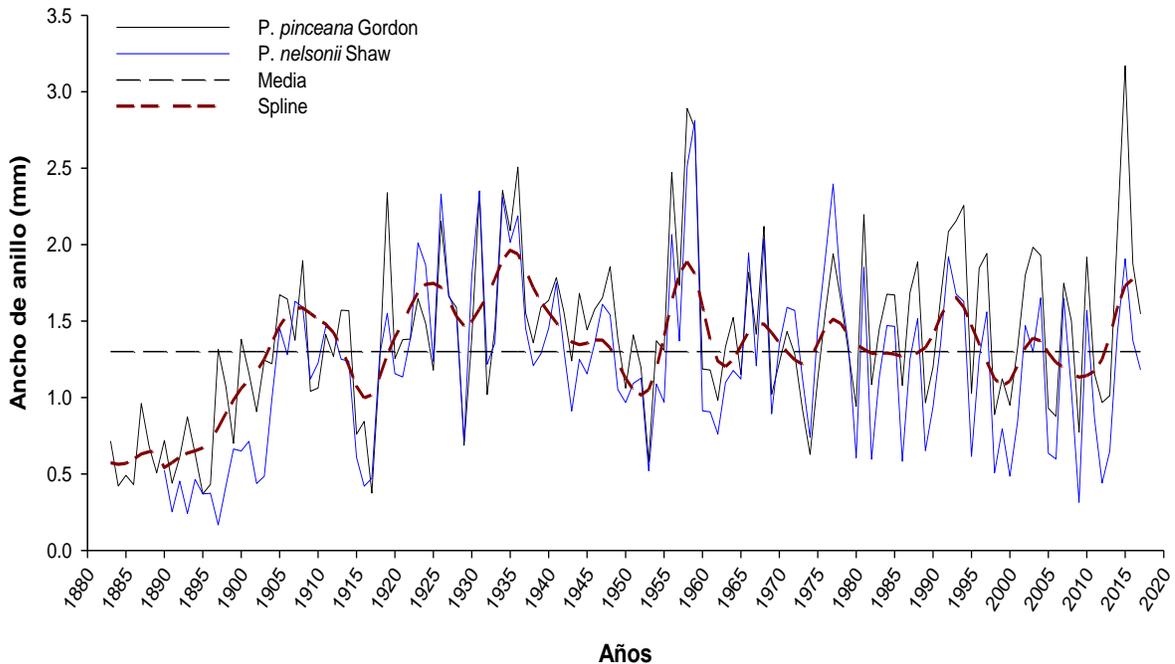


Figura 8. Series medias del ancho de anillo mostrando una sincronía con valores altos y bajo de acuerdo a la media.

4.1.1 Crecimiento acumulado en diámetro

Identificadas las series de crecimiento con mejor ajuste, para *P. nelsonii* las 54 muestras corresponden a 27 árboles y para *P. pinceana* las 42 muestras a 24 árboles, de acuerdo a la cantidad de árboles fechados se elaboraron curvas de crecimiento acumulado en diámetro a la base para cada especie de esta forma se puede observar la tendencia en el crecimiento.

Las curvas de crecimiento acumulado en diámetro para la especie de *P. nelsonii* presenta tendencias de crecimiento diferentes pese a que las muestras provienen de un mismo lugar, distinguiéndose algunos individuos con mayor crecimiento acumulado en cada uno de los árboles (Figura 9), las curvas de crecimiento acumulado generadas para la especie *P. pinceana* presentan un crecimiento con tendencia más uniforme (Figura 10), de acuerdo con Valerio y Salas (1998), el crecimiento total de los individuos, son el resultado del efecto de las características genéticas de la especie, el vigor (su capacidad intrínseca para aprovechar los recursos disponibles), la etapa de desarrollo de los árboles (edad), el sitio (disponibilidad de agua, minerales, luz y temperatura).

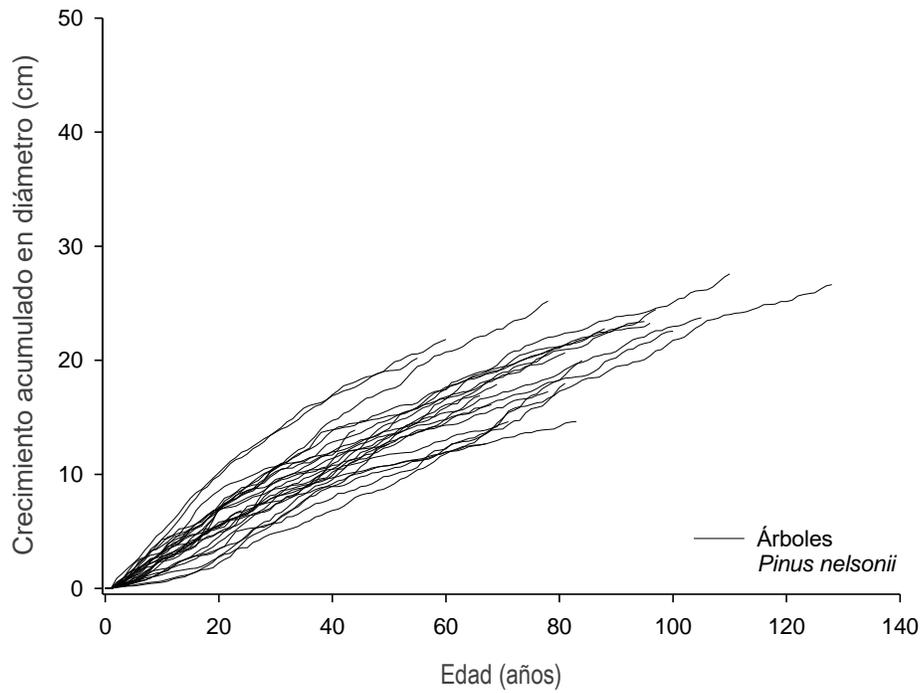


Figura 9. Tendencia del crecimiento acumulado en diámetro de los árboles (n=27) de *Pinus nelsonii* Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

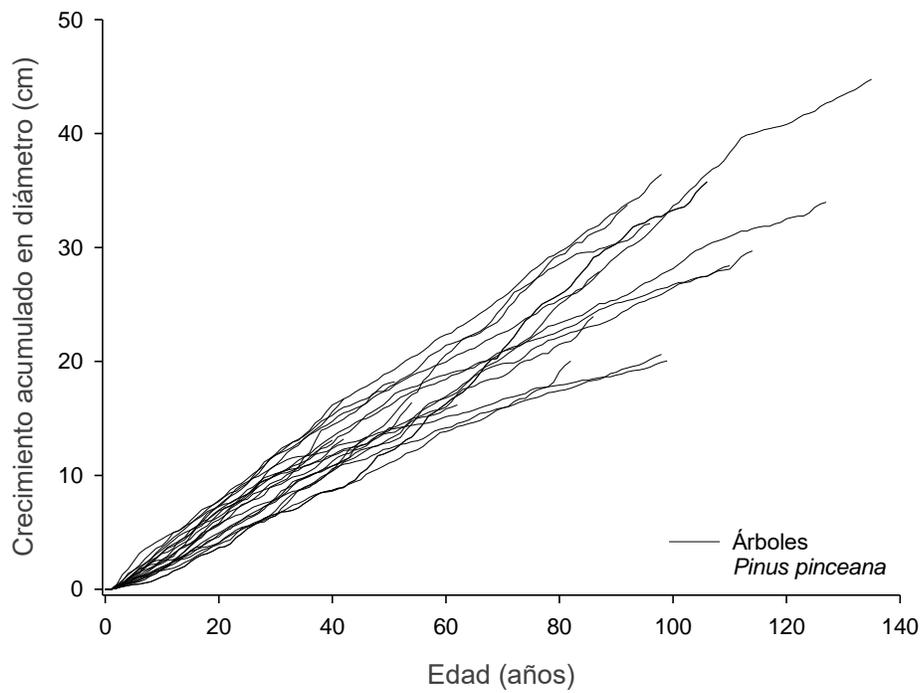


Figura 10. Tendencia de crecimiento acumulado en diámetro de los árboles (n=24) de *Pinceana* Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

4.2 Modelos de crecimiento

En la predicción del crecimiento en diámetro de *P. nelsonii* los modelos utilizados (Apéndice 1) presentan valores muy próximos entre uno y otro, es decir el valor de R^2 ajustada se encuentra entre 0.9645 y 0.9725, en el caso de *P. pinceana* los valores de los modelos (Apéndice 2) son más cercanos a uno van de 0.9821 a 0.9947.

De acuerdo a los criterios de selección, de los cuatro modelos ajustados para estimar el crecimiento acumulado en diámetro de *P. nelsonii* y *P. pinceana* el modelo que presentó un mayor ajuste fue el de Chapman-Richards, al mostrar el menor valor del CME, así como valor de R^2 más alto (Cuadro 6).

El ajuste de los modelos de crecimiento para este estudio en su mayoría se logró con los modelos de Chapman-Richards y Schumacher, algo similar con otros estudios (Salmerón, 2015; Arredondo, 2018), esto demuestra que los modelos son más comunes y adecuados para presentar el crecimiento de pinos por su bondad de ajuste (Corral y Návar, 2005).

Cuadro 6. Estadísticos de ajuste de los modelos en relación edad-diámetro acumulado de las especies *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

Especies	Modelo	Parámetros de regresión			R^2	CME
		a	b	c		
<i>P. nelsonii</i> Shaw	Chapman-Richards	44.4205	0.00737	1.001	0.973	4.645
<i>P. pinceana</i> Gordon	Chapman-Richards	61.174	0.008	1.157	0.990	1.906

Dónde: a, b, c= parámetros de regresión R^2 = Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado Medio del Error.

De acuerdo a la tendencia en el crecimiento de los árboles de las especies de estudio se dan a conocer las curvas ajustadas para cada especie con respecto al crecimiento acumulado en diámetro.

La tendencia del crecimiento en diámetro acumulado de los 27 árboles de *P. nelsonii*, se graficó la curva de crecimiento obtenida con el modelo de Chapman-Richards (Figura 11), en este caso la curva de crecimiento ajustada no presenta una forma habitual de “S” sigmoidea sino que presenta un crecimiento lento a los 20 años sólo tiene 7 cm en diámetro y en los 50 a 80 años de edad un diámetro de 13.5 a 20 cm, de esta manera la tendencia del crecimiento va en aumento de forma constante, de manera que a los 128 años presenta un diámetro mayor de 28 cm y continua su crecimiento.

Por otra parte, la respuesta de los 24 árboles de *P. pinceana* son un poco más uniformes. Se graficó la curva obtenida de con el modelo de Chapman-Richards (Figura 12), ésta se ajusta una curva de forma convexa en un intervalo de entre los 50 y 80 años de edad, con un diámetro a la base de 13.5 a 22.5 cm, a la edad máxima de 135 años se tiene un crecimiento mayor de 35 cm y conforme avanza su edad a un aumenta su diámetro.

Los resultados obtenidos para la selección del modelo de Chapman-Richards coinciden con lo reportado por Salmerón (2015), con la especie de *Pinus johannis* en Nuevo León, Coahuila y Zacatecas, en las poblaciones de Mesa del Rosario y San Antonio de la Osamenta en éstas se ajustó mejor este modelo ya que estas poblaciones presentan similitud con respecto a la especies de estudio, además reporta que el mayor crecimiento en diámetro sobrepasa los 25 cm a la edad aproximada de 90 años por lo que denota que es una especie de lento crecimiento.

También con Arredondo (2018), en la especie *Pinus nelsonii* en Tamaulipas en la población de Miquihuana donde el mejor modelo fue el mismo, de igual manera el rango de edad y diámetro es similar con las especies de estudio, ya que el crecimiento sobrepasa los 30 cm de diámetro a partir de los 100 años. Cabe mencionar que ambas especies pertenecen a la mismas sección cembroides (pinos piñoneros).

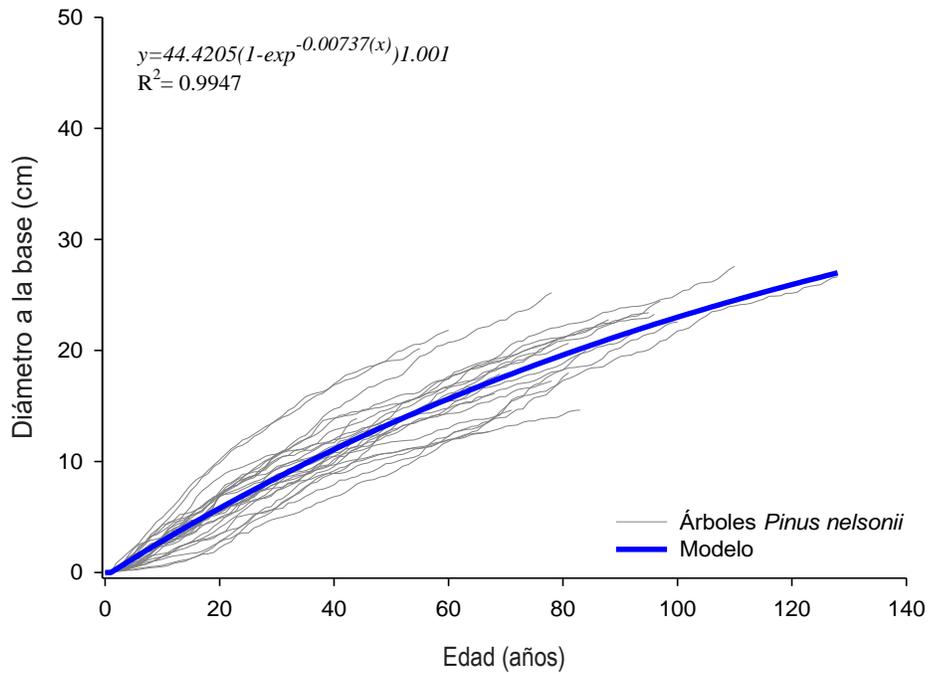


Figura 11. Curva de crecimiento obtenida en base al modelo Chapman-Richards para los árboles de *Pinus nelsonii* Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

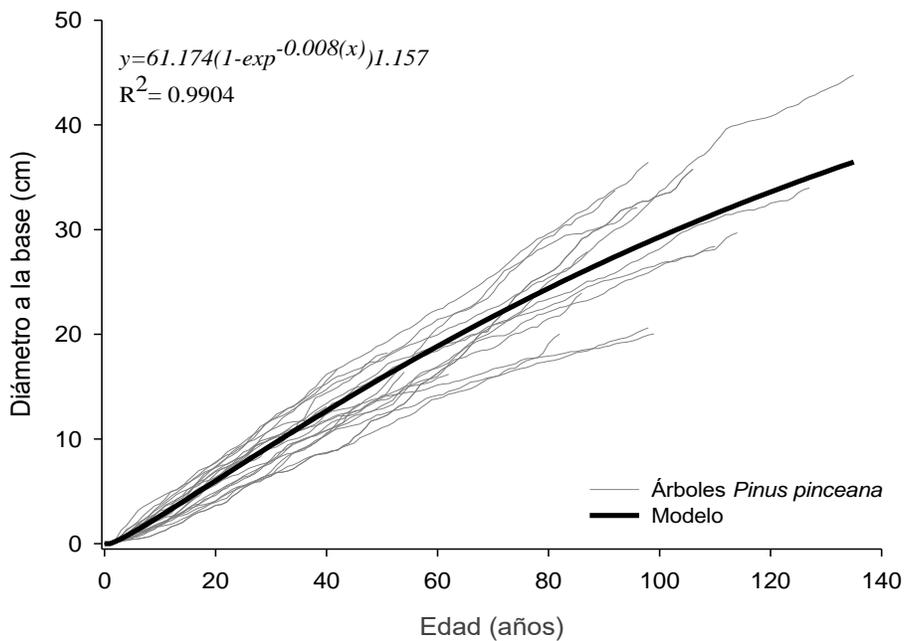


Figura 12. Curva de crecimiento obtenida en base al modelo Chapman-Richards para los árboles de *Pinus pinceana* Gordon en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

4.3 Comparación de las curvas de crecimiento

Al comparar las curvas de crecimiento obtenidas para los 27 árboles de *P. nelsonii* y los 24 árboles de *P. pinceana* mediante el modelo de Chapman-Richards, se observa que ambas curvas presentan una forma ascendente inicialmente tiene el mismo crecimiento, pero a partir de los 25 años *P. pinceana* comienza a crecer más (Figura 13), aun cuando comparten el mismo hábitat *P. Pinceana*, presenta un mejor crecimiento en diámetro que *P. nelsonii*.

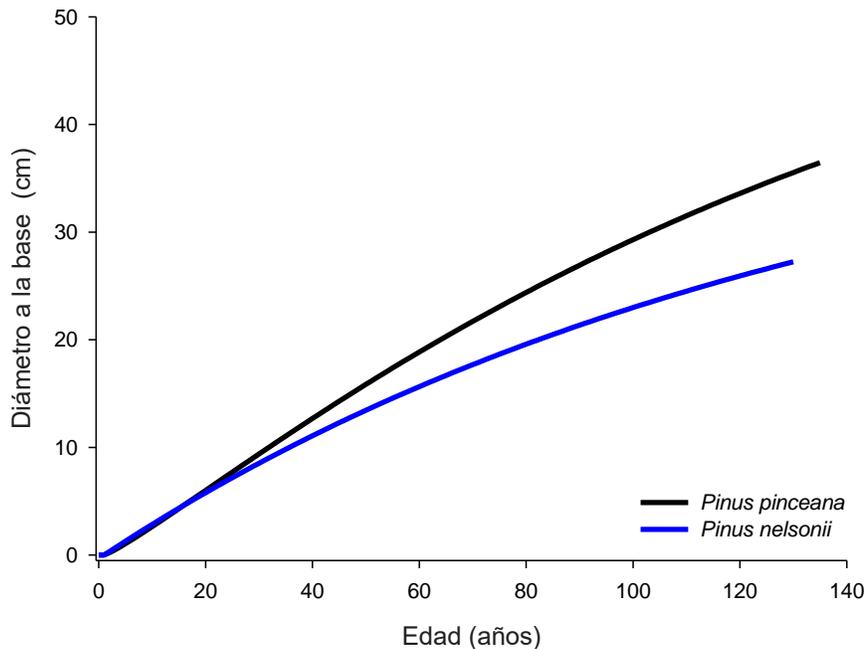


Figura 13. Comparación de las curvas de crecimiento a la base promedio obtenidas con base al modelo Chapman-Richards para las especies de *Pinus pinceana* Gordon y *Pinus nelsonii* Shaw en El Realejo, Guadalcázar, San Luis Potosí.

Los resultados obtenidos por Salmerón (2015), donde las curvas de crecimiento en diámetro para la especie de *P. johannis*, no presentan la forma habitual de curva sigmoidea, sino una curva que aún sigue en crecimiento, mismas que se comparan con las obtenidas, las cuales presentan la misma tendencia de crecimiento por lo que aún no se conoce la edad o turno máximo en el crecimiento de las especies pertenecientes al grupo Cembroides.

En el estudio de *P. patula* realizado por Montiel y Zamudio (2007), los modelos mejor ajustados son Schumacher y Chapman-Richards, estos presentan una R^2 con mayor valor, la curva de crecimiento en diámetro indica que a la edad de 28 años tiene un diámetro de 32 cm, comparado con las especies de estudio se observa que tiene un mayor crecimiento en diámetro a menor edad.

Quinto y Moreno (2010) señalan la respuesta de una curva de crecimiento la cual comienza con un crecimiento inicial lento, seguido de una fase de crecimiento acelerado el cual tiende hacer lineal y en la parte final de la curva, el crecimiento vuelve a ser lento cuando el árbol se encuentra en su etapa madura, condición que las especies de estudio cumplen hasta la segunda fase ya que a un no llegan a su etapa madura.

De acuerdo con Villanueva *et al.* (2010), en su estudio sobre árboles longevos de México, en los climas secos, ha localizado individuos de pinos piñoneros como: *P. cembroides* con una edad superior a los 400 años, *P. pinceana* puede superar los 300 años de vida y *P. culminicola* con edades superiores a 225 años, de acuerdo a estos rangos de edad con relación a las especies de este estudio, podrían encontrarse en la etapa de crecimiento acelerado o juvenil.

Platt *et al.* (1988) y Delgado (1997) mencionan que dentro del género *Pinus* se han reconocido dos principales patrones de vida: especies de vida corta que crecen y maduran rápidamente y especies de vida larga que presentan madurez tardía y una mayor inversión de sus estructuras vegetativas. Al comparar las tendencias de crecimiento para las especies de *P. nelsonii* y *P. pinceana* se observa que de acuerdo a los años el aumento en su crecimiento en diámetro es mínimo y lento por lo que se clasificarían en la especie de vida larga.

5 CONCLUSIONES

El ancho de los anillos permite generar series de crecimiento las cuales muestran la tendencia del crecimiento en los árboles para un lugar determinado, así como el patrón de crecimiento.

Ambas especies de este estudio están catalogadas como sensibles de acuerdo a los valores obtenidos del programa COFECHA, aunque *P. nelsonii* muestra un poco más de sensibilidad ya que presenta más variación en el ancho de los anillos.

De acuerdo a la tendencial del crecimiento acumulado de *P. nelsonii* y *P. pinceana* el mejor modelo para describir el crecimiento es el de Chapman-Richard por mostrar los mejores parámetros de ajuste seguido del modelo de Schumacher.

La tendencia de las curvas de crecimiento en diámetro a la base entre las dos especies describe que los árboles de *P. pinceana* tiene mayores crecimientos que *P. nelsonii* por lo tanto se acepta la H_a .

En cuanto a las especies *P. nelsonii* y *P. pinceana* ambos pertenecen al grupo cembroides que se catalogan como especies de vida larga, con madurez tardía en comparación con otras especies del género *Pinus*.

Con base a las investigaciones realizadas para la elaboración de este trabajo se demuestra que hay pocos trabajos que evalúen el crecimiento del grupo cembroides ya que estas especies no son de carácter económico o maderable por esta razón la falta de estudios.

6 RECOMENDACIONES

En trabajos posteriores donde se compare el crecimiento en diámetro de estas especies o de piñoneros en general se recomienda extraer de dos a tres muestras (virutas) por árbol en diferente orientación.

Para tener mayor eficiencia y menor sesgo o problemas con el fechado se recomienda utilizar un taladro de Pressler de 8 a 10 mm el cual permite apreciar con mayor claridad los anillos de crecimiento e identificar fácilmente microanillos, anillos falsos y perdidos.

Fechar las muestras o virutas de pinos piñoneros con técnicas dendrocronológicas y equipo de medición ya que tienen la característica de presentar anillos perdidos y falsos por lo que un fechado manual representaría una subestimación de la información.

En trabajos posteriores desarrollar curvas de incremento en ICA e IMA para conocer la tendencia del incremento con el que se va desarrollando cada especie.

En trabajos posteriores se recomienda realizar la evaluación del potencial dendroclimático de *P. nelsonii* ya que se obtuvieron valores altos en cuanto a la correlación entre series, así como en la sensibilidad.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roezl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal*, 22 (81): 11–40.
- Arredondo, D. R. 2018. Comparación de crecimiento de dos poblaciones naturales y una plantación de *Pinus nelsonii* Shaw en el noreste de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 57 p.
- Arteaga, M. B., 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayotoxtla, Guerrero. *Revista Chapingo Series Ciencias Forestales y del Ambiente*, 6(2):151-157.
- Axelrod, D. 1958. Evolution of the madro-tertiary geoflora. *The Botanical Review*, 24:433-509.
- Brienen, R. J. y Zuidema, P. A. 2006. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of Ecology*, 94. 481–493 p.
- Calvillo G., J. C., E. H. Cornejo O., S. Valencia M. y C. Flores L. 2005. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Mtz. en la región Cd. Hidalgo, Michoacán, México. *Foresta Veracruzana* 7(1):5-10.
- Carrillo E., G. 2008. Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo. México. 172 p.
- Cerano, P.J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 152 p.
- Chagas C., J., y H. García L. 2002. Mensuracao florestal. Preguntas y respuestas. Universidad Federal de Viscosa. Brasil. 407 p.

- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Pienaar, H. G. Briester y R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley y Sons, Inc. 333 p.
- Constante, G. V., J. Villanueva, D., J. Cerano, P., E. Cornejo, O., y S. Valencia, M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Ciencia Forestal*, 34 (16):17-41.
- Constante, G. V., J. Villanueva D., J. Cerano, P., y J. Estrada A. 2010. Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 40 p
- Corral, R.,S. y J. J. Návar C. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11: 29-47.
- Daniel, T. W., A. J. Helms y F. S Baker. 1982. Principios de silvicultura. Ed. McGraw. Hill. México: 493 p.
- Delgado, V., P. 1997. Estructura demográfica y genética de una especie del género *Pinus* (*Pinus rzedowskii* Madrigal et Caballero) endémica del estado de Michoacán, Mexico. Tesis de Maestría. UNAM, 82p.
- Eguiluz, P.,T. 1985. Origen y evolución del género *Pinus* (con referencia especial a los pinos mexicanos). *Dasonomía Mexicana* 3(6):5-31.
- Farjon, A. 1996. Biodiversity of *Pinus* (Pinaceae) in Mexico: speciation and paleo-endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society* 121: 365-384.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora neotropica. monograph 75. Organizationfor Flora Neotropica. New York Botanical Garden. E.U.A, 291 p.
- Farjon, A., J. A. Pérez de la R. y B. T. Styles. 1997. A field guide to the pines of Mexico and Central America. The Royal Botanic Gardens: Kew Publishing House. London. UK. 147 p.

- FIRCO, 2005. Delimitación nacional de microcuencas. México: Fideicomiso de Riesgo Compartido Agencia Promotora de Agronegocios- Universidad Autónoma de Querétaro (FIRCO-UAG). 50 p.
- Flores R., J. 1983. Situación de los estudios de crecimiento en masas forestales en México. In: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. Colegio de Posgraduados. COLPOS. (comp.). Instituto de Investigaciones Forestales. México. Pp. 5-8.
- Fritts, H. C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic Press: London - New York San Francisco 567 p.
- García A., A., y M. S. González. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. México. 187 p.
- García, E. y CONABIO. 1998. Clima, escala 1:1000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Gemmell, A. R. 1969. Developmental plant anatomy. (Folleto 421) London: , Edward Arnold. 20 p.
- González, L., H. D. 1997. Calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 70 p.
- González, Z., M. 2000. Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 91 p.
- Gutiérrez, G, G., y Ricker, M. 2019. Influencia del clima en el crecimiento radial en cuatro especies de coníferas en la Sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León, México). Revista Mexicana de Biodiversidad, 90:1-14.

- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2):205-221.
- Hé Hernández, L., I. 2003. Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 100 p.
- Hocker, W. H. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México. 446p.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43: 69-78.
- INEGI. 1998. San Luis Potosí, Tabuladores Básicos Ejidales por Municipio, Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos, PROCEDE 1992-1997 . Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Agascalientes, Ags. 116 p.
- INEGI. 2001. Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional. Escala 1:1,000,000. Serie I (Provincias Fisiográficas). Mexico: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. 2010. Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica Escala 1:50,000. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía 106 p.
- INEGI. 2017. Uso de suelo y vegetación, escala 1:250000, series VI (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mexico.
- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2019. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2019-2. [En línea: 03 diciembre 2019]. Disponible en. <https://www.iucnredlist.org>
- Keeley, J. E. y P. Zedler. 1998. Evolution of life histories in pines. En DM, Richardson (Ed). *Ecology and biogeography of pinus*. Cambridge University. Press. UK. 219-250.

- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales . Universidad Autónoma Chapingo. Ed. de la E. N. A. (UACH). México. 365 p.
- Knuchel, I. 1950. Planung und Kontrolle im *Forstbetrieb*. Aarau: Sauerländer. 101-107.
- Lanner, R. M. 1981. The piñon pine: A Natural and Cultural History. University of Nevada Press: Reno, Nevada, USA. 208 p.
- Lara, A., R. Villalba, J. Aravena, F. Wolodarsky y E. Neira. 2000. Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (Alerce) para Chile y Argentina. En: Dendrocronología en América Latina. Roig F. (comp); EDIENC. Mendoza, Argentina. 215-218.
- Ledig, F. T., M. A. Capó A., P.D. Hodgskiss, H. Sbay, C. Flores L., M. T. Conkle y B. Bermejo V. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (pinaceae). *American Journal of Botany* , 88(11):1977-1987.
- Malusa, J. 1992. Phylogeny and biogeography of the pinyon pines (*Pinus* Subsect. *Cembroides*). *Systematic Botany*, 17:42-66.
- Martínez, L. 1996. A guide to dendrochronology for educators. [En línea: 03 diciembre 2019]. <https://www.ltrr.arizona.edu/lorim/lori.html>
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Tercera edición: Librería y Ediciones Botas. México. 361 p.
- McCarthy, B. 1998. Dendrochronology Seminar. PBIO-69 Dendrochronology Seminar 500 Server. Ohio, U.S.A. [En línea: 03 diciembre 2019]. http://www.collegetermpapers.com/TermPapers/Miscella/HOW_USEFUL_IS_DENDROCHRONOLOGY_TO_ARCHAEOLOGY.html
- Meza, F. y V. Mora. 2003. Comparación del crecimiento en altura de la teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica con otros trabajos previos y con otras regiones del mundo. Instituto de Investigación y Servicios Forestales. Universidad Nacional Heredia. Heredia, Costa Rica. 8 p.

- Millar, C. I. 1993. Impacto of the eocene on the evolution of *Pinus* L. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 80: 471-498.
- Millar, C. I. 1998. Early evolution of pines. In: *Ecology and biogeography of Pinus*. Richardson, D.M. (ed): Cambridge University Press. UK 69-91p.
- Monárrez, G., J. y H. Ramírez M. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus duranguensis* Mtz. en el estado de Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(1):45-56.
- Monroy, R., C. R. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl. et. Cham. en la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. *Ciencia Forestal en México* 21 (80): 57-78.
- Montiel, O., D., y I. Zamudio V. 2007. Caracterización de una plantación de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) en el municipio de Teziutlán, estado de Puebla. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco. México 76 p.
- Perry, J. P., 1991. *The Pines of Mexico and Central American*. Timbers Press: Portlan, Oregon, USA, 231 p.
- Perry, J. P., and Richardson M., D. 1998. The history of pines in México and Central America. In: M. D. Richardson (ed). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press Cambridge, UK. 37-149.
- Platt, W. J., W. Evans y R. S. Rathbun. 1988. The population dynamics of a long-live conifer (*Pinus palustris*). *American Naturalist*, 131: 491-525.
- Price, R. A., Liston y S. H. Strauss. 1998. Phylogeny and systematics of *Pinus*. In: M. D. Richardson (ed). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp: 49-68.
- Prodan, M. R. 1997. *Mensura Forestal*. IICA-GTZ. Serie de investigación y desarrollo sostenible . San José, Costa Rica: 560 p.

- Quinto, H. y F. Moreno. 2010. Crecimiento de árboles en un bosque pluvial tropical del Chocó y sus posibles efectos sobre las líneas de energía. En *Bio Terra, Revista de Biología e Ciencias Da Terra*, 10 (2): 12-28.
- Richardson, M. D. y Rundel. W. P. 1998. Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction. In: M. D. Richardson (ed). *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 3-46.
- Robinson, W. J., y Evans, R. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring. *Tree-Ring Bulletin*, 40:59-64.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Limusa: México. 432 p.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1era edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- Salmerón, B. S. A. 2015. Crecimiento e incremento de árboles de seis poblaciones de *Pinus johannis* M-F. Robert, en el noreste de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75p.
- Sánchez, G. A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14 (1): 107-120.
- Santillan, H. M., E. Cornejo, O., J. Villanueva, D., J. Cerano, P., Valencia, S., M., y M. A. Capo, A. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*, 16:17-30.
- SEMARNAT, 2001. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001). Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. D.O.F. 06 de marzo de 2002. México. 85 p.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la

- Federación. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturas, Jueves, 30 de diciembre del 2010. 77 p. Disponible en.
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5173091&fecha=30/12/2010.
- Shaw, R. G. 1909. The pines of Mexico. Publications of the Arnold Arboretum No. 1, 96 p.
- Sit, V. y Poulin, C. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics information handbook series. Handbook No. 4. Province of British Columbia. Forest Science Research Branch. Victoria, B. C, U.S.A, 110 p.
- Stokes, M. A., and Smiley, T. L. 1996. Dating, An Introduction to Tree-Ring. University of Chicago Press, Chicago: Illinois. 73 p.
- Suzán, A. H. 1985. Estudios autoecológicos-dendrocronológicos en *Pinus nelsonii*. En: Flores (Ed.) Memorias. I Simposio Nacional de Pinus Piñoneros, UANL. México, 137-149 p.
- Valerio, J., y Salas, C. (1998). Selección de prácticas silviculturales para bosques tropicales. Manual Técnico, segunda edición. Santa Cruz, Bolivia, 59 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International. UK, 312 p.
- Villanueva, D. J., J. Cerano-Paredes, D. W. Stahle, V. Constante-García, L. Vázquez-Salem, J. Estrada-Ávalos y J. D. Solorio-Benavides. 2010. Árboles longevos de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1:7-30.
- Yáñez, E. L. 2004. Las principales familias de árboles en México. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo: Texcoco, Estado de México. 189 p.
- Zavarin, E., and Karel, S. 1987. Monoterpene Differentiation in Relation to the Morphology of *Pinus culminicola*, *Pinus nelsonii*, *Pinus pinceana* and *Pinus maximartinezii*. Biochemical Systematics and Ecology, 15:307-312.

8 APÉNDICE

Apéndice 1. Valores de los estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de la variable diámetro en *Pinus nelsonii* Shaw

Modelo	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
Schumacher	3.3927	-35.397		0.9703	0.9702	5.0079
Chapman-Richards	44.4205	0.00737	1.001	0.9725	0.9723	4.6446
Gompertz	26.2558	1.0007	0.0288	0.9645	0.9645	5.9853
Logístico	23.6114	2.1155	0.0486	0.9675	0.9674	5.4833

Dónde: *a*, *b*, *c* = parámetros de regresión; R²= Coeficiente de determinación; R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio del error.

Apéndice 2. Valores de los estadísticos de los modelos analizados para el conjunto de datos de la variable diámetro en *Pinus pinceana* Gordon.

Modelo	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
Schumacher	3.9921	-52.0187		0.9904	0.9901	2.4737
Chapman-Richards	61.174	0.008	1.157	0.9947	0.9941	1.9063
Gompertz	51.109	1.1155	0.0206	0.9821	0.9820	6.6387
Logístico	42.2632	2.3975	0.0394	0.9898	0.9897	3.6581

Dónde: *a*, *b*, *c* = parámetros de regresión; R²= Coeficiente de determinación; R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio del error.