

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento En *Pinus cembroides* Zucc, En Poblaciones Naturales Y  
Plantaciones En Tres Localidades del Noreste De México

Por:

**MARÍA DEL CARMEN GUZMÁN LEMUS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento En *Pinus cembroides* Zucc, En Poblaciones Naturales Y  
Plantaciones En Tres Localidades Del Noreste De México

Por:

**MARÍA DEL CARMEN GUZMÁN LEMUS**

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



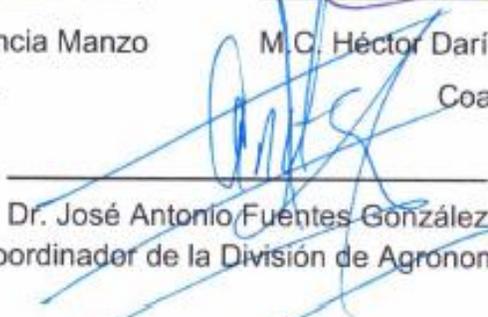
M.C. Adrián Hernández Ramos  
Asesor Principal Externo



M.C. Salvador Valencia Manzo  
Coasesor



M.C. Héctor Darío González López  
Coasesor



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

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2021



Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 30-38111-425103001-2175,

Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del Profesor Investigador Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A mi madre María Victorina Lemus Méndez, mi más grande amor, la mujer más fuerte y cariñosa que ha estado conmigo en cada momento de mi vida, gracias por tu apoyo incondicional, que permitió que jamás me diera por vencida y sé que seguirá siendo así gracias a tus enseñanzas, a ti madre hermosa te agradezco por formarme con tu ejemplo de educación, fortaleza y amor.

A mi padre Mario Guzmán Gutiérrez, por ser el mejor ejemplo para mí, porque has dedicado tu vida a tu familia, eres un hombre que me hace sentir orgullosa, porque nos diste el mejor ejemplo a mí y a mis hermanos, haciendo de nosotros personas de bien, gracias por tu amor y esfuerzo para sacarme adelante. Reconozco tu gran corazón y ese carácter que logró lo mejor para su familia.

A mis hermanos María Isabel, Fabián, Andrés y Pedro Gerardo, por su apoyo incondicional en cada momento, de verdad que sin ustedes no hubiera sido posible culminar esta etapa en mi vida, porque dieron todo por ayudarme, porque gracias a ustedes soy la persona que soy.

A mi esposo Leonardo Cecilio Cruz Reynaga, por darme tu amor y cariño, por estar conmigo en cada momento difícil, comprenderme y apoyarme para terminar este proyecto, gracias por cuidar de mí, así como yo estaré contigo cada momento.

## AGRADECIMIENTOS

A DIOS Por haberme permitido llegar hasta este momento de mi vida y haberme dado salud para terminar esta etapa profesional, la fuerza para superar cada prueba difícil que se me presentó en mi camino.

Agradezco por permitir que mis padres estén conmigo en este logro.

A mi *Alma Mater Terra* por abrirme sus puertas y haberme brindado la oportunidad de forjarme como profesionista.

Al Dr. Celestino Flores López, por su apoyo como maestro durante la carrera, siendo un docente de calidad, quien además como asesor de tesis me brindó su apoyo incondicional para lograr terminar este proyecto, mostrando disposición para compartir su tiempo y conocimientos.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su asesoría para la elaboración de este trabajo y por todos los consejos que me brindó durante la carrera, además de mostrarse como un amigo y maestro interesado en la correcta formación de los alumnos.

Al M.C. Adrián Hernández Ramos por su asesoría para la culminación de este documento.

A mis compañeros y amigos Xóchitl Moreno, Hilda Hernández, Roberto Flores, Heriberto del Billar, Arley Gómez, Pedro Guzmán, Enrique Hernández con quienes compartí grandes experiencias y conocimientos donde mostraron una amistad sincera esperando sigamos siendo amigos por mucho tiempo.

Familia Cruz Reynaga por su apoyo y acompañamiento en la culminación de este proyecto.

### **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, gráficas, 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

---

Firma y Nombre

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS .....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iii
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1Objetivos e hipótesis.....	7
2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
2.1 Descripción del área de estudio.....	8
2.2 Análisis troncales de dos plantaciones .....	8
2.3Obtención de virutas de crecimiento en plantaciones y poblaciones distribución natural. ....	11
2.4Modelos de crecimiento para plantaciones y poblaciones naturales .....	11
2.5Determinación de incrementos y edad base .....	13
2.6Comparación de incremento medio anual máximo a edad base entre plantaciones y poblaciones naturales .....	14
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
3.1 Crecimiento en diámetro y altura de dos plantaciones .....	15
3.2 Crecimiento en diámetro y altura de dos poblaciones naturales.....	18
3.3 Comparación de IMA en diámetro entre plantaciones y poblaciones naturales .....	25
4 CONCLUSIONES .....	28
5 RECOMENDACIONES .....	29
6 LITERATURA CITADA.....	30

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Descripción del área de estudio .....	10
Cuadro 2. Modelos de crecimiento empleados para las plantaciones y poblaciones naturales de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. ....	12
Cuadro 3. Ecuaciones para el cálculo de incrementos .....	13
Cuadro 4. Modelos ajustados en la relación edad-altura, edad-diámetro para la especie de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. en las plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. ....	15
Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste, de la relación edad-altura y edad-diámetro, para la especie de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. en dos poblaciones naturales. ....	19
Cuadro 6. Comparación de muestras pareadas entre localidades.....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Área de estudio de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.....	9
Figura 2. Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) para la relación edad-altura para <i>Pinus cembroides</i> Zucc. en las plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	17
Figura 3 Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro para la especie <i>Pinus cembroides</i> Zucc., en dos plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Saltillo, Coahuila.....	18
Figura 4 Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-altura para la especie <i>Pinus cembroides</i> Zucc. de la población natural en Salaverna, Zacatecas. ....	21
Figura 5. Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-altura para la especie <i>Pinus cembroides</i> Zucc.,.....	22
Figura 6. Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro para la especie <i>Pinus cembroides</i> Zucc., de la población natural localizada en Salaverna, Zacatecas. ....	23
Figura 7. Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro	

para la especie *Pinus cembroides* Zucc., de la población natural  
localizada en Jamé, Coahuila. .... 23

## RESUMEN

*Pinus cembroides* Zucc. es una especie con capacidad de adaptación a suelos someros y pedregosos así como climas extremos en zonas semi áridas. En el presente estudio se comparó el crecimiento en diámetro y altura entre poblaciones y plantaciones, a través de análisis troncales y virutas de crecimiento, además se realizó una comparación del incremento medio anual en diámetro en un rango de edad. Se realizó en plantaciones Campus y Reforestación (UAAAN) en Saltillo, Coahuila y en poblaciones naturales ubicadas en Salaverna, Zacatecas y Jamé, Coahuila. En cada una de las localidades se utilizó un muestreo selectivo se seleccionaron tres modelos de crecimiento, para comparar el crecimiento e incremento en altura y diámetro entre plantaciones y poblaciones naturales. La selección del mejor modelo se realizó bajo los criterios de los estadísticos Cuadrado Medio del Error (CME), Raíz del CME y Coeficiente de determinación ajustada ( $R^2_{aj}$ ). Se utilizó el Proc Nlin del paquete estadístico SAS. El mejor modelo para describir el crecimiento de *P. cembroides* de las plantaciones y poblaciones para altura fue Weibull y en diámetro fue Chapman-Richards. Las plantaciones tienen mayor IMA en diámetro que las poblaciones naturales para el periodo de 29 a 39 años y entre poblaciones naturales Salaverna tiene mayor IMA en diámetro que Jamé.

Palabras clave: Diámetro, Incremento Medio Anual, Modelos de Crecimiento,

*Pinus cembroides*.

## ABSTRACT

*Pinus cembroides* Zucc. It is a species with the ability to adapt to shallow and stony soils as well as extreme climates in semi-arid areas. In the present study, the growth in diameter and height between populations and plantations was compared, through stem analysis and increment cores, in addition, a comparison was made of Average Annual Growth Rate (AAGR) in diameter in an age range. It was carried out in Campus and Reforestation plantations (UAAAN) in Saltillo, Coahuila and in natural populations located in Salaverna, Zacatecas and Jamé, Coahuila. In each of the localities, a selective sampling was used, three growth models were selected, to compare the growth and increase in height and diameter between plantations and natural populations. The selection of the best model was carried out under the criteria of the Mean Square Error (MSE), Root MSE and the Adjusted Coefficient of Determination (Adjusted R-square). The Proc Nlin of the SAS statistical package was used. The best model to describe the growth of *P. cembroides* in plantations and populations for height was Weibull and in diameter was Chapman-Richards. The plantations have a higher AAGR in diameter than the natural populations for the period of 29 to 39 years and among natural populations Salaverna has a higher AAGR in diameter than Jamé.

Keywords: Diameter, Average Annual Growth Rate, Growth Models, *Pinus cembroides*.

## 1 INTRODUCCIÓN

Se estima una riqueza del género *Pinus* de 111 especies en el mundo (Price *et al.*, 1998; Sánchez-González, 2008) dado esto, México y América Central cuentan aproximadamente con 46 especies de *Pinus* con distintas variedades y formas (Perry *et al.*, 1991; Sánchez-González, 2008). En especial, la diversidad que se encuentra en México del género *Pinus* es alta y se cuenta con el 42% de las especies del género, de las cuales se considera un endemismo mayor al 55% de especies, ubicadas en distintas islas biogeográficas (Yeaton, 1982; Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000; Sánchez-González, 2008).

Los bosques de pino en México se caracterizan por sobrevivir a problemas frecuentes de sequía, heladas, incendios y pastoreo desordenado, entre otros factores, que ponen en riesgo su permanencia. Estos tienen la capacidad de desarrollarse en condiciones de suelos someros, rocosos y pobres en materia orgánica y minerales (Rzedowski, 2006; Sánchez-González, 2008); Un ejemplo de ello son los pinos piñoneros, que tienen la capacidad de desarrollarse en estas condiciones de hábitat en el norte de México (Yeaton, 1982; Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000; Sánchez-González, 2008).

*Pinus cembroides* Zucc. es una especie del grupo de piñoneros con una amplia distribución geográfica, ya que se desarrolla desde el centro hasta el norte de México, siendo utilizada por su semilla para recolección y comercio sobre todo en el estado de Nuevo León siendo este el principal proveedor de la República (Rzedowski, 2006). *P. cembroides* se desarrolla en laderas, lomeríos al pie de cerros, montañas, en pendientes rocosas y secas, tiende a crecer en climas

templado húmedo a templado seco y puede llegar a tolerar de siete a ocho meses de sequía con temperaturas de 0 a 22° C y una precipitación anual de 400 a 700 mm, se adapta a suelos generalmente secos, pobres en fertilidad, calizos, pedregosos, calcáreos, de color grisáceo a negro y estos con un pH neutro a alcalino, asociado con vegetación como encinos arbustivos, *Yucca* y *Juniperus*, mientras que en lugares con mayor humedad se asocia con *Pinus chihuahuana* Engelmann y *Pinus engelmannii* Carr., en rangos latitudinales desde los 18° a los 31° N y altitudinales entre 1800 a 2800 msnm (Constante *et al.*, 2009, Salazar y Soihet, 2001 y Vázquez, 2015).

Desafortunadamente en los últimos años los bosques de pino, en el Noreste de México, se han visto afectados por acciones del hombre como son el sobrepastoreo, los incendios forestales y el cambio climático. Por ejemplo, los incendios en los años 1989 y 1998 en Nuevo León afectaron 30,899 y 28,000 ha, respectivamente (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Gobierno del Estado de Nuevo León. 1998; SEMARNAT, 2002; Ríos-Carrasco *et al.*, 2008).

Con base en lo anterior se han realizado programas de plantaciones forestales, pero no han sido tan amplios y tampoco han cumplido con el propósito de frenar la degradación de los suelos en el Noreste de México. Una de las causas es la mala elección de las especies, ya que es difícil su adaptación a las condiciones naturales del lugar donde se establecen dichas plantaciones, al igual la falta de interés de los propietarios y al hecho de no darle seguimiento a los programas de reforestación y restauración de los suelos afectados (Farjon y Page, 1999; Ríos-Carrasco *et al.*, 2008).

Algunas de las especies de pinos piñoneros utilizadas en plantaciones son *P. cembroides*, *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus pinceana* Gordon, en la Sierra Madre Oriental, donde se compararon la altura, el diámetro basal y la supervivencia de tres especies, cada tres años hasta los 19 años, donde encontraron que *P. pinceana* resultó ser mejor en supervivencia y altura, mientras que *P. cembroides* tuvo mayor diámetro en el sitio de menor elevación (Ríos-Carrasco *et al.*, 2008).

Cabe recalcar que las plantaciones forestales es una alternativa para la recuperación de la superficie forestal, para diferentes objetivos como protección de cuencas hidrológicas, restauración y reforestación, plantaciones comerciales y recuperación de áreas degradadas (Torres y Magaña, 2001).

Sin embargo, una de las principales problemáticas en México es la falta de evaluación y manejo en el establecimiento de plantaciones ya que se establecen con enfoques y estrategias muy diversas, donde los objetivos de la evaluación son inconsistentes con los de la plantación (FAO, 2000; Arano-Santos *et al.*, 2003; Vázquez, 2015). Y en el caso de evaluaciones en plantaciones forestales una de las problemáticas es que no existe información acerca de la respuesta de crecimiento de las especies (Castellanos *et al.*, 1994).

Es importante señalar que el crecimiento es una de las variables a evaluar en el establecimiento de las plantaciones, el cual es el efecto de un grupo de factores genéticos y ambientales que intervienen en la fisiología de las especies. Es por ello, la importancia de medir esta variable, y así lograr interpretar las respuestas y relaciones posibles de la plantación (Gómez, gg2006).

Dicho lo anterior surge la necesidad de evaluar el crecimiento de *P. cembroides* en plantaciones y compararlo en condiciones naturales de crecimiento,

sobre todo para poder indicar su adaptación dentro de las condiciones ecológicas en que se desarrolla la especie. Este crecimiento e incremento debería ser en un tiempo o periodo determinado, al respecto, existen principalmente dos tipos de incrementos, el incremento corriente anual (ICA) y el incremento medio anual (IMA) (Klepac, 1983; Imaña y Encinas, 2008).

Se considera de gran importancia conocer las variables diámetro y la altura de los árboles, ya que se han utilizado para diferentes objetivos, por ejemplo para obtener el volumen comercial y total mediante el uso de ecuaciones de predicción de volumen, además de que en los bosques regulares puede utilizarse la altura en relación con la edad para predecir la productividad del sitio y la estructura vertical de un bosque (Klepac, 1983; Romero-Hernández, 2005; Vázquez, 2015).

En las regiones de clima templado el incremento se observa claramente mediante las capas de incremento anual, éstas sirven para estimar el crecimiento e incremento del árbol, además ayuda a conocer cuál era la edad, el diámetro y el volumen en una edad determinada de su vida; existen procedimientos por medio de los cuales se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante toda su vida y a este procedimiento se le llama análisis troncal (Klepac, 1983).

Otros métodos también utilizados en zonas templadas para determinar el incremento del árbol son los cilindros o también llamados virutas de incremento, las cuales se obtienen por medio del taladro de Pressler, el procedimiento consiste en perforar el árbol en un ángulo recto a su eje longitudinal y a una altura de 1.3 m, se penetra hasta el centro, una vez analizando las virutas se obtienen los datos del crecimiento e incremento del árbol durante su vida, con base a esto se puede

obtener el crecimiento en diámetro del árbol sin medir directamente el incremento en altura del árbol (Klepac, 1983).

Para describir el crecimiento y el incremento existen modelos de crecimiento (Valerio, 1997). Al respecto, se han realizado diferentes estudios para evaluar el crecimiento con distintos modelos para especies de importancia comercial, por ejemplo, Corral y Návar-Cháidez (2005) compararon y validaron ecuaciones de crecimiento e incremento en diámetro, altura y volumen de cinco especies comerciales (*P. engelmannii* Carriere, *P. leiophylla* Schlecht y Cham, *P. herrerae* Martínez, *P. cooperi* Blanco y *P. durangensis* Martínez) en Durango, México. Para el estudio utilizaron los datos del diámetro normal (D), la altura (H) y del volumen (V) a una edad dada y los integraron a información de análisis troncales.

De forma particular se han recomendado modelos como el de Chapman-Richards para el cálculo de variables dasométricas en bosques regulares además que se consideran el más adecuado para plantaciones forestales (Corral y Návar-Cháidez, 2005).

Sin embargo, González (2000) y Sosa (2001) realizaron estudios de crecimiento e incremento de *Pinus estevezii* Martínez y *Pinus teocote* Schl. y Cham, respectivamente en rodales naturales en el sureste de Coahuila y sur de Nuevo León, donde compararon siete modelos de incremento y 10 de crecimiento donde el mejor modelo para altura para ambas especies fue el de Chapman-Richards sin embargo para otras variables como diámetro, área basal y volumen los modelos fueron diferentes. Por otro lado, González (1997) en su estudio realizado en San José de la Joya, Galena, Nuevo León, sobre crecimiento e incremento, probó seis modelos de crecimiento y cinco modelos de incremento, y también Chapman-

Richards resulto ser el mejor para diámetro, Schumacher para área basal y Weibull para altura y volumen. Dichos modelos también han resultado ser efectivos para describir el crecimiento e incremento de *Pinus herrerae* Martínez en Cd. Hidalgo, Michoacán (Calvillo-García *et al.*, 2005).

Desafortunadamente existen pocos estudios de crecimiento para la especie de *P. cembroides* en poblaciones y plantaciones. De los pocos trabajos está el de Lucio (2011) donde evaluó en una plantación en Los Lirios, Arteaga, Coah. el crecimiento, bifurcación, sobrevivencia y arquitectura de copa de tres procedencias de *P. cembroides* (Santa Victoria, Saltillo, Coah. y Sierra de Guadalupe, Concepción del Oro, Zac. y Cañón de la Laja, Santa Olaya, Mazapil, Zac.). Encontró que la procedencia de Cañón de la Laja es la mejor procedencia aun que las tres mostraron una buena aclimatación en el área de estudio. Y otro estudio es el realizado por Vázquez (2015) en el cual analizó el crecimiento e incremento de cinco especies de pinos: *P. cembroides*, *P. eldarica* Medw, *P. halepensis* Mill, *P. maximartinezii* Rzedowski, *P. pinea* L, a los 27 años de establecida en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Considerando que *P. cembroides* tiene buen crecimiento y sobrevivencia en la región de Buenavista, Saltillo, Coahuila con respecto a otras especies introducidas como *P. halepensis* Miller, sobre todo a la resistencia de las heladas (Cepeda, 2013) y por otro lado *P. cembroides* es una especie nativa, que preferentemente son recomendadas para el establecimiento de plantaciones forestales (DOF, 2018), por estas razones este estudio se propone.

## 1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general fue comparar el crecimiento e incremento de *P. cembroides* desarrollado bajo condiciones de plantación forestal y de poblaciones naturales en el Noreste de México.

Los objetivos específicos fueron

Describir el crecimiento en diámetro y altura a partir de análisis troncales y virutas de crecimiento de dos plantaciones forestales establecidas en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Describir el crecimiento en diámetro y altura a partir de virutas de crecimiento para dos poblaciones, Salaverna, Zacatecas y Jamé, Coahuila.

Comparar el IMA en diámetro entre el rango de edades de 29 a 39 años de dos plantaciones forestales con respecto a dos poblaciones naturales utilizando análisis troncales y virutas de crecimiento.

Las hipótesis propuestas son:

Ho: No existe diferencia en el Incremento Medio Anual (IMA) en diámetro entre el rango de edades de 29 a 39 años, al comparar las plantaciones y poblaciones naturales de *P. cembroides*.

Ha: Existe diferencia en el IMA en diámetro entre el rango de edades de 29 a 39 años, al comparar las plantaciones y poblaciones naturales de *P. cembroides*.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del área de estudio

En el presente trabajo se consideraron cuatro áreas de estudio de *P. cembroides* (Figura 1; Cuadro 1), dos de ellas son poblaciones naturales, la primera localizada en Jamé, Coahuila y la segunda en Salaverna, Zacatecas, y dos más son plantaciones forestales establecidas en Saltillo, Coahuila, en condiciones diferentes, la primera se localiza dentro del Campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) (plantación 1) y la segunda dentro del área de la reforestación de la UAAAN (plantación 2).

### 2.2 Análisis troncales de dos plantaciones

Para seleccionar individuos en las plantaciones, se utilizó un diseño de muestreo selectivo que consiste en elegir aquellos individuos dominantes y coodominantes para el análisis troncal. En el caso de la plantación del Campus UAAAN se utilizaron los datos de análisis troncales de Vázquez (2015). Y solamente en la plantación de la Reforestación UAAAN, se seleccionaron ocho árboles en total para el análisis troncal, dos árboles de cada una de las clases de copa dominante, coodominante, intermedio y suprimido georeferenciados con un receptor GPS. Se cortaron a la base, se midieron con una cinta métrica y seccionaron con una motosierra, obteniendo una primera rodaja a la base, posteriormente a 0.30 m y consecutivamente a 50 cm de distancia entre cada rodaja; después las rodajas se secaron en estufa por tres días a una temperatura de 40°C, posteriormente, se lijaron y se determinó la edad a cada corte mediante el método de análisis troncales (Klepac, 1983).

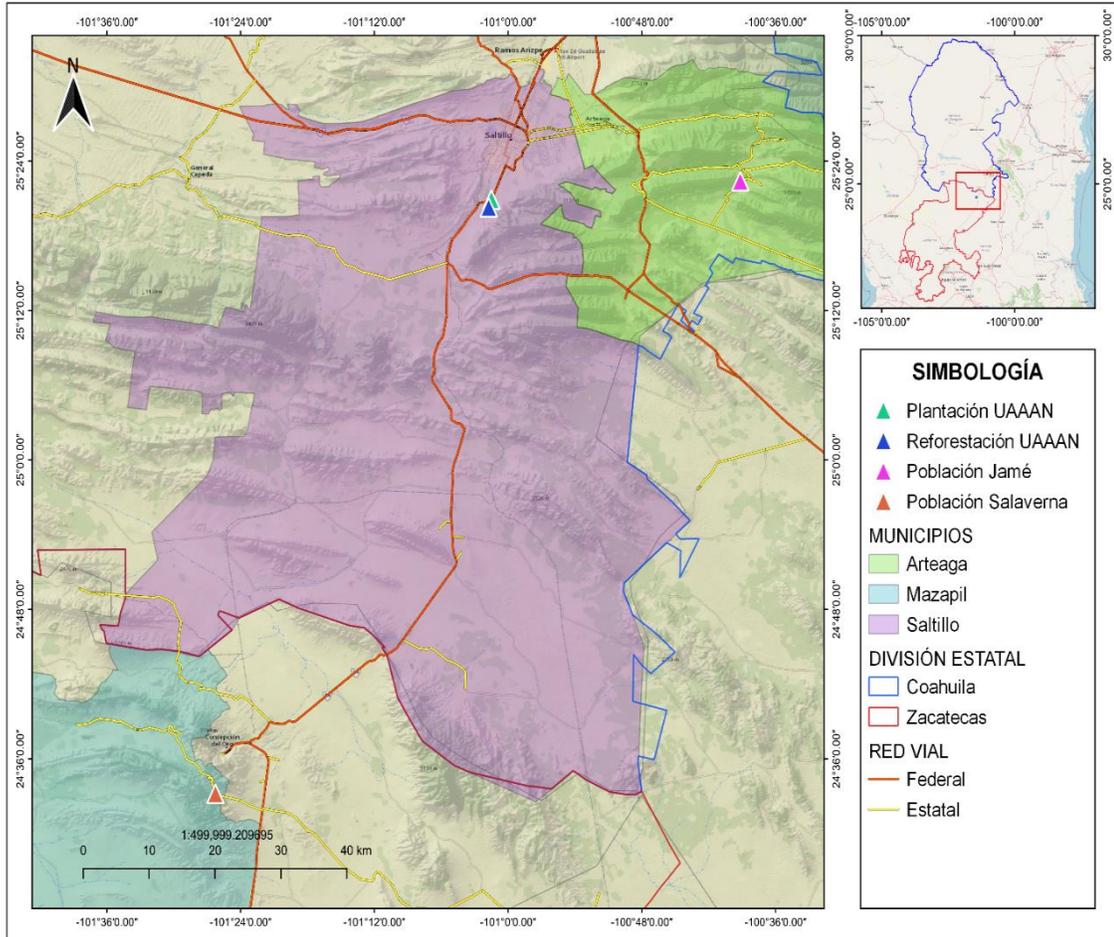


Figura 1 Área de estudio de *Pinus cembroides* Zucc.

Cuadro 1 Descripción del área de estudio

Localidad/ Variables	Jame, Coahuila	Salaverna, Zacatecas	Buenavista, Saltillo, Coahuila	
			Campus UAAAN	Reforestación UAAAN
Latitud	25°22'22.90"N	24°33'4.10"N	25°21'16.81"N	25° 20´16.76" N
Longitud	100°39'17.40"O	101°26'18.20"O	101° 1'44.64"O	101°01'44.47" O
Altitud (msnm)	2284 msnm.	2411 msnm.	1810 msnm.	1855 msnm.
Hidrología	Región Hidrológica Bravo y El Salado en la Cuenca Río San Juan y Cuenca Sierra Madre Oriental cubriendo parte de la Subcuenca San Rafael.	Región hidrográfica El Salado y la cuenca Sierra de Rodríguez y la Subcuenca San Andrés.	Región hidrográfica Bravo Conchos, en la cuenca Río Bravo San Juan y la Subcuenca Pino Solo Saltillo.	
Fisiografía	Sierra Madre Oriental.	Sierra Madre Oriental.	Sierra Madre Oriental.	
Geología	Lutitas y Areniscas calcáreas.	Es de origen cretácico medio e inferior-terciario y tipo de roca sedimentarias.	Es de origen cenozoico y gravas, arenas y roca sedimentaria.	
Edafología	Suelos y Rendzina.	Litosol Suelo litosol.	Suelo xerosol cálcico.	
Clima	Clima (C (w1)), temperatura media anual entre 12 y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación media anual que varía entre los 400 mm y 700 mm.	Clima Bs1k(x') , temperatura media anual entre 12° y 18° C, la temperatura del mes más frío entre -3° y 18° C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C; lluvias de verano mayores al 18% anual.	Clima (Bsohw), temperatura entre 18° y 22°C, la temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 28°C, con lluvias de verano del 5 al 10.2% anual.	
Vegetación	Se presentan bosque de pino, y cultivos permanentes de frutal leñoso.	Bosque de pino, matorral inerme y pastizal natural y manejo agrícola.	Bosque de pino que ocupa el 14.54% y el bosque de piñonero con matorral xerófilo tan sólo 9.55 %.	

Fuente: García (1964); INEGI (2016 a, b, c, d; 2017); CONAGUA (2015).

### 2.3 Obtención de virutas de crecimiento en plantaciones y poblaciones con distribución natural.

También en la plantación en el campus de la UAAAN se recolectaron virutas de crecimiento de *P. cembroides*, a la altura de 0.30 m. Las virutas se obtuvieron de ocho árboles considerando las clases de copas, dominante, codominante, intermedia y suprimida. El tamaño de la viruta fuera de la longitud del diámetro de cada árbol, utilizándose un taladro de Pressler, posteriormente las virutas fue colocadas en popotes para no romperlas, se fijaron en cintillas de madera y posteriormente se lijaron para su medición y se comenzó a contar los anillos de crecimiento y a capturar en la base de datos.

Para el caso de las localidades de Jamé y Salaverna se seleccionaron 30 árboles para cada localidad de todas las categorías posibles para evaluar el crecimiento e incremento mediante la evaluación de las virutas de crecimiento. El procedimiento consistió en tomar dos virutas de cada árbol a la altura de 0.30 m, además se tomó de cada árbol el diámetro (0.30 m) y normal (1.30 m) con una cinta diamétrica, grosor de corteza a la base, a 0.30 m y a 1.30 m con un medidor de corteza, y diámetro de copa con una cinta métrica.

### 2.4 Modelos de crecimiento para plantaciones y poblaciones naturales

Se realizaron las curvas de crecimiento considerando las variables dasométricas edad-diámetro y edad-altura para plantaciones y poblaciones naturales. Para el caso de las dos plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación

UAAAN) en Saltillo, se consideraron los datos en conjunto ya que estas plantaciones están en las mismas condiciones ecológicas.

Para dichas relaciones dasométricas mencionadas se consideraron tres modelos de crecimiento, que han sido los más utilizados en trabajos similares y que son los que resultaron con mejor ajuste con una estimación aceptada, estos fueron Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (Cuadro 2) (Sit y Poulin-Costello, 1994; Corral y Návar-Cháidez, 2005; Zúñiga-Hernández, 2013; Vázquez, 2015).

El modelo que mejor se ajustó a los valores se seleccionó a partir del diagrama de dispersión, los valores mínimos en el cuadrado medio del error (CME), raíz de cuadrado medio del error (RCME) y los valores más altos del coeficiente de determinación ( $R^2_{aj}$ ) (Vanclay, 1994). Para el análisis estadístico se utilizó el paquete de cómputo Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 mediante el procedimiento de regresión no lineal (Nonlinear Regression o PROC NLIN).

Cuadro 2. Modelos de crecimiento empleados para las plantaciones y poblaciones naturales de *Pinus cembroides* Zucc.

Modelo	Forma funcional
Schumacher	$Y = ea + b/X$
Chapman-Richards	$Y = a[1 - e(-bX)]^c$
Weibull	$Y = a(1 - e(-b(X^c)))$

Dónde: Y = variable de estudio; a, b, c= parámetros de regresión; X = edad; e = base logaritmos naturales. Fuente: Sit y Poulin-Costello (1994)

## 2.5 Determinación de incrementos y edad base

La determinación de los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) se derivó de la curva de ajuste del modelo seleccionado para la variable diámetro en las plantaciones y poblaciones naturales utilizando las fórmulas del (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ecuaciones para el cálculo de incrementos

Variable	Ecuación ICA	Ecuación IMA
Diámetro	$\text{ICA} = \frac{\text{Diámetro 2} - \text{Diámetro 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$\text{IMA} = \frac{\text{Diámetro}}{\text{Edad}}$
Altura	$\text{ICA} = \frac{\text{Altura 2} - \text{Altura 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$\text{IMA} = \frac{\text{Diámetro}}{\text{Edad}}$

Dónde: ICA=Incremento Corriente Anual e IMA=Incremento Medio Anual

Fuente: Imaña y Encinas (2008).

La edad base se estableció como la edad máxima de las plantaciones, definiéndose un rango de edades entre 29 y 39 años para poder ser comparadas con las poblaciones naturales. Para dicho rango de edad se estimó el IMA solamente en diámetro ya que se contaba con esa variable tanto en plantaciones como en poblaciones naturales.

También se determinó el turno absoluto para las variables altura y diámetro, que es en el punto dónde cruzan las curvas del ICA e IMA máximo (Ayerde, 1996; Zamudio, 1997; Monárrez y López, 2010; Hernández-Ramos *et al.*, 2016).

## 2.6 Comparación de incremento medio anual máximo a edad base entre plantaciones y poblaciones naturales

La comparación del incremento medio anual (IMA) se realizó mediante una prueba de comparación de medias pareadas a un nivel de significancia al 5% mediante la siguiente fórmula (Jayaraman, 1999).

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{s_d^2}{n}}}$$

$$s_d^2 = \frac{1}{n-1} \left( \sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n} \right)$$

Dónde:

t = Estadístico t de distribución de muestras pareadas, con n-1 grados de libertad

$\bar{d}$  = Media de las diferencias de las muestras pareadas

$s_d^2$  = Varianza de las diferencias de las muestras

n = Número de pares de valores

$d_i$  = Son diferencias de observaciones pareadas

Se obtuvieron las estadísticas descriptivas de las plantaciones y poblaciones naturales para el IMA y se realizó la comparación pareada de las muestras para determinar si existía diferencia en incremento medio anual entre las plantaciones y poblaciones para el rango de edad seleccionado respecto a la edad base.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Crecimiento en diámetro y altura de dos plantaciones

Para la relación edad-altura los tres modelos son adecuados, pero considerando los valores del cuadrado medio del error (CME), (RCME) y coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ), el modelo seleccionado para dicha relación fue el de Weibull ya que obtuvo el mayor valor de  $R^2_{aj}$  de 0.9566 y un menor valor de CME de 0.3908, señalándose con sombreado en el Cuadro 3. Pero para la relación edad-diámetro el modelo seleccionado (sombreado) fue el de Chapman-Richards, ya que obtuvo una  $R^2_{aj}$  de 0.9147 y el CME fue de 3.8212.

Cuadro 4. Modelos ajustados en la relación edad-altura, edad-diámetro para la especie de *Pinus cembroides* Zucc. en las plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Relación	Modelo	Parámetros de regresión			$R^2_{adj}$	CME	RCME
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
Edad- Altura	Schumacher	2.2721	-25.1185		0.9544	0.4108	0.6409
	Chapman- Richards	8.2154	0.0403	1.904	0.9565	0.3913	0.6255
	Weibull	6.7554	0.0037	1.6388	0.9566	0.3908	0.6251
Edad- Diámetro	Schumacher	3.2004	-27.6262		0.9086	4.0936	2.0232
	Chapman- Richards	330.7	0.00245	1.3333	0.9147	3.8212	1.9547
	Weibull	203	0.000551	1.3193	0.9147	3.8213	1.9548

Respecto a la relación edad-diámetro y edad-altura en diferentes estudios realizados de coníferas en plantaciones los modelos que han ajustado son Chapman-Richards y Schumacher tal es el caso del estudio realizado por Arteaga-Martínez (2001) donde evalúa cuatro pináceas (*P. radiata*, *P. oaxacana*, *P. montezumae* y *P. Pseudostrobus*) en Ayotoxtla, Gro. También un estudio realizado por Vázquez (2015) en la plantación establecida en Buenavista, Saltillo, Coah.,

donde se evaluó el crecimiento de cinco especies del género *Pinus* a 27 años de edad y se encontró como resultado que los modelos que mejor se ajustaron para la variable altura fue Schumacher y Weibull, respectivamente, mientras que para la variable diámetro los modelos que mejor ajustaron fue Chapman-Richards y Weibull, que en comparación con este estudio realizado nuevamente vuelve a presentarse el modelo Chapman-Richards como un modelo que muestra buen resultado para la variable diámetro.

De igual manera en una plantación de *P. herrerae*, Calvillo-García *et al.* (2005) en Cd. Hidalgo, Michoacán, México indicaron que los modelos que mejor ajustaron para la variable altura fueron Chapman-Richards, Gompertz, Logístico, Schumacher, Weibull y Exponencial, con base a esto el modelo seleccionado para la variable altura fue Weibull. Como se mencionó en estudios anteriores al igual mostró bondad de ajuste, siendo un modelo adecuado para evaluar el crecimiento e incremento en altura en plantaciones de pináceas, mientras que para la variable altura el modelo Chapman-Richards fue el seleccionado.

Proyectando el crecimiento edad-altura en una gráfica (Figura 2, Figura 3) podemos apreciar que es una curva en forma sigmoideal donde no ha terminado su crecimiento, debido a que la plantación se encuentra en estado juvenil, se puede apreciar en las gráficas del ICA e IMA en altura que ya llegó a su turno absoluto a la edad de 31 años, mientras que en diámetro aún no ha llegado a su turno absoluto.

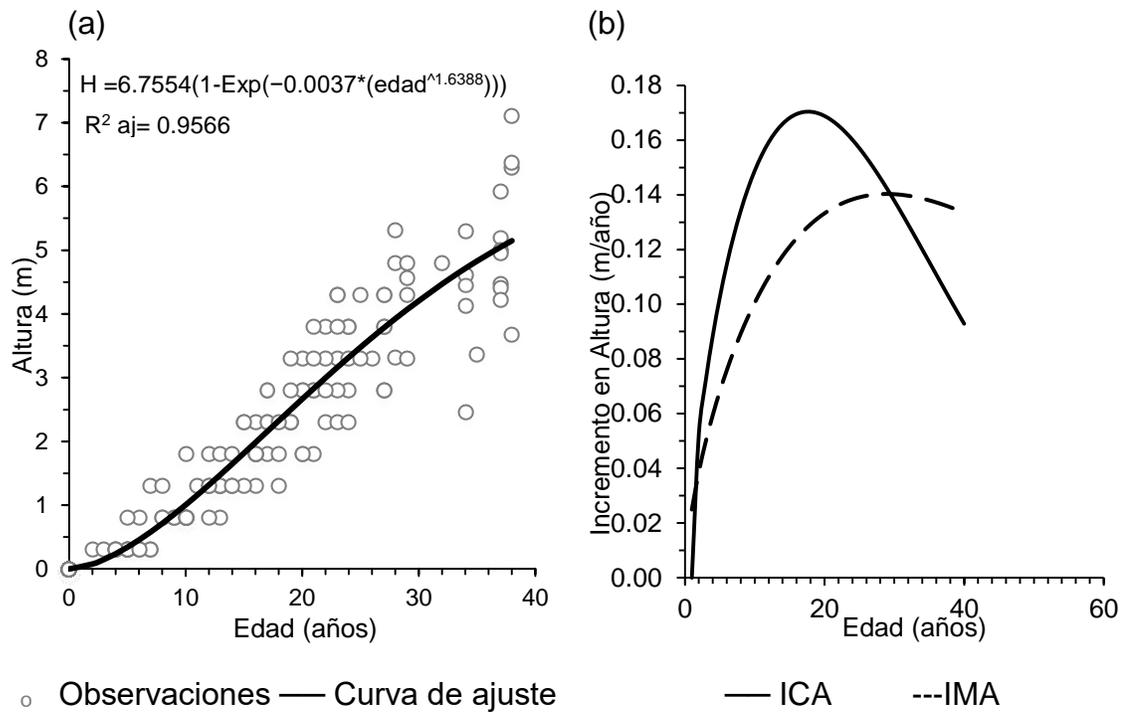


Figura 2. Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) para la relación edad-altura para *Pinus cembroides* Zucc. en las plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Las plantaciones evaluadas se encuentran en un estado juvenil, presentan un crecimiento rápido para los primeros años, pero después comienza a disminuir su crecimiento, como se muestra en la curva que comienza a tenderse. Puede darse esta respuesta debido a que son árboles juveniles y como lo menciona (Klepac, 1983; Sosa, 2001) que en poblaciones donde los árboles son de la misma especie y se encuentran en el mismo sitio, pueden llegar a presentar diferencias en altura, debido a que el factor genético influye.

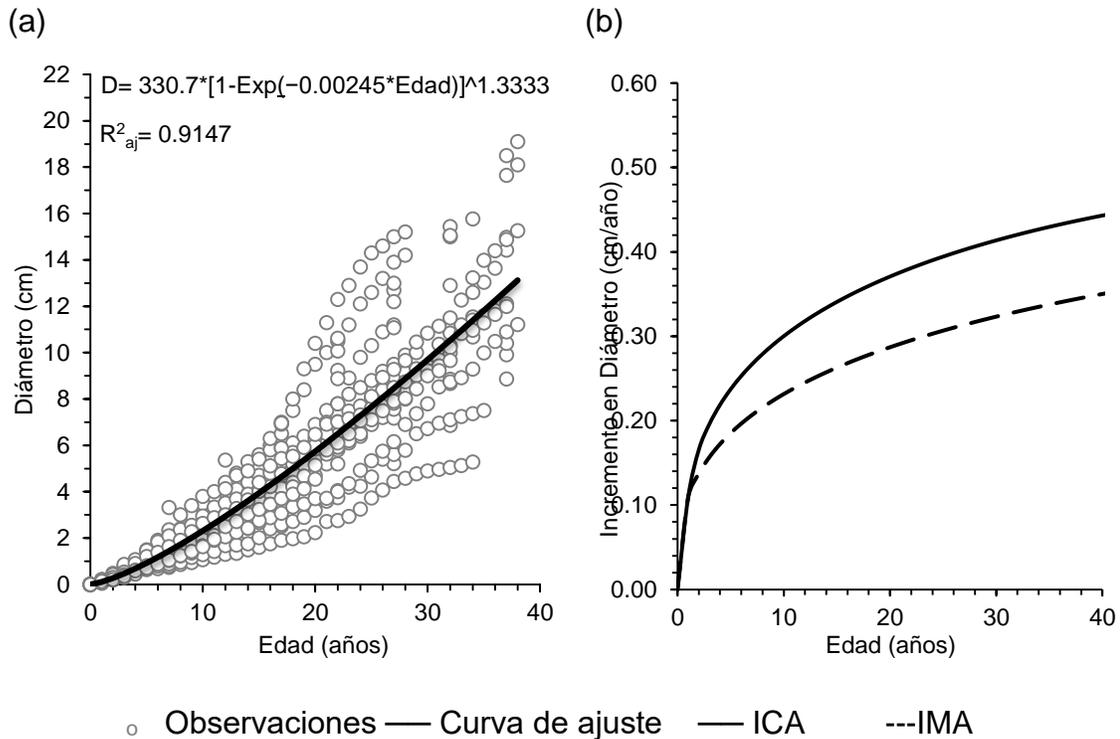


Figura 3 Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro para la especie *Pinus cembroides* Zucc., en dos plantaciones (Campus UAAAN y Reforestación UAAAN) en Saltillo, Coahuila.

En un estudio realizado por Sosa (2001) se evaluó el crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en el sureste de Coahuila y el sur de Nuevo León describe que la variable altura presenta crecimientos muy acelerados en los primeros años, pero con el avance de la edad va disminuyendo hacia un crecimiento estacionario, pero sin llegar a estabilizarse, esto debido a que son árboles en una etapa juvenil.

### 3.2 Crecimiento en diámetro y altura de dos poblaciones naturales

Los modelos ajustados para la población de Salaverna muestran un valor de ajuste considerable, pero el modelo Weibull es el que presenta un mayor  $R^2_{aj}$

(0.9465) y el menor valor del CME (4.5803) (Cuadro 5). Mientras que para la relación edad-diámetro el modelo que se seleccionó fue el de Chapman-Richards por obtener el valor de  $R^2_{aj}$  (0.9378) mayor en comparación con el resto y CME (24.7844).

Los modelos utilizados para la población natural de *P. cembroides* en Jamé presentan de igual manera un buen ajuste, pero el modelo Weibull sobresalió con un  $R^2_{aj}$  (0.95259) y valor de cuadrado medio del error CME (4.4465), señalándose los valores con sombreado para la relación de edad-altura, mientras que el modelo Chapman-Richards destacó para la relación edad-diámetro, obteniendo un  $R^2_{aj}$  (0.97361) y valor del CME de 7.3493 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Modelos con mejor ajuste, de la relación edad-altura y edad-diámetro, para la especie de *Pinus cembroides* Zucc. en dos poblaciones naturales.

Relación	Modelo	Parámetros de regresión			$R^2_{adj}$	CME	RCME
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$			
Edad- Altura	Schumacher	2.8248	-62.753		0.9463	4.5974	2.1442
	Chapman-Richards	11.811	0.0242	2.7223	0.9458	4.6425	2.1546
	Weibull	11.224	0.00039	1.8264	0.9465	4.5803	2.1402
	Schumacher	2.7756	-40.899		0.9541	4.3060	2.0751
	Chapman-Richards	12.373	0.0254	1.7419	0.9523	4.4480	2.1090
	Weibull	12.072	0.00401	1.3707	0.9525	4.4465	2.1087
	Schumacher	4.0111	-58.508		0.9351	25.8530	5.0846
	Chapman-Richards	47.645	0.0155	1.7396	0.9378	24.7844	4.9784
Edad- Diámetro	Weibull	42.826	0.00138	1.4921	0.9377	24.7925	4.9792
	Schumacher	3.9391	-81.159		0.9659	9.5010	3.0824
	Chapman-Richards	80.433	0.0047	1.3219	0.9736	7.3493	2.7110
	Weibull	67.913	0.00112	1.2718	0.9736	7.3506	2.7112

En un estudio realizado por Corral R. y Návar (2005) donde analizaron el crecimiento e incremento de cinco pináceas en Durango, probaron 10 modelos para diferentes variables, para el caso de la altura el modelo que presentó el mayor ajuste fue Chapman-Richards, en segundo lugar el modelo Weibull, mientras que para las poblaciones naturales de *Pinus cembroides* evaluadas en Salaverna y Jamé, se obtuvieron como resultados que los tres modelos seleccionados mostraron un buen ajuste, pero se seleccionó el modelo de Weibull para ambas poblaciones ya que mostró los valores más elevados del coeficiente de determinación ajustado.

Para el diámetro, los modelos que mostraron los más altos registros de ajuste y validación son Chapman-Richards y Weibull en el estudio mencionado anteriormente, mientras que en el presente estudio para la variable diámetro el modelo que mostró los mejores coeficientes de determinación y el menor valor de cuadrado medio del error fue Chapman-Richards, cabe mencionar que la ecuación de Weibull se colocó en segundo lugar.

Como se puede observar el modelo de Chapman-Richards en varios estudios de crecimiento e incremento de coníferas presenta ventajas en comparación con otros, además del modelo Weibull para las variables altura y diámetro.

En otro estudio, realizado por Aguilar *et al.* (2016) para *P. montezumae* en Santiago Textitlán, Oax., donde analizaron el crecimiento e incremento utilizando los modelos de Chapman-Richards, Schumacher y Weibull, el modelo Chapman-Richards resultó como el que mejor predice el crecimiento e incremento de la especie. El modelo Chapman-Richards en la evaluación de variables dasométricas para bosques regulares, donde las dimensiones de los árboles evaluados no son

tan variables, se considera un modelo adecuado y se recomienda su uso al igual para plantaciones (Corral R. y Nívar 2005).

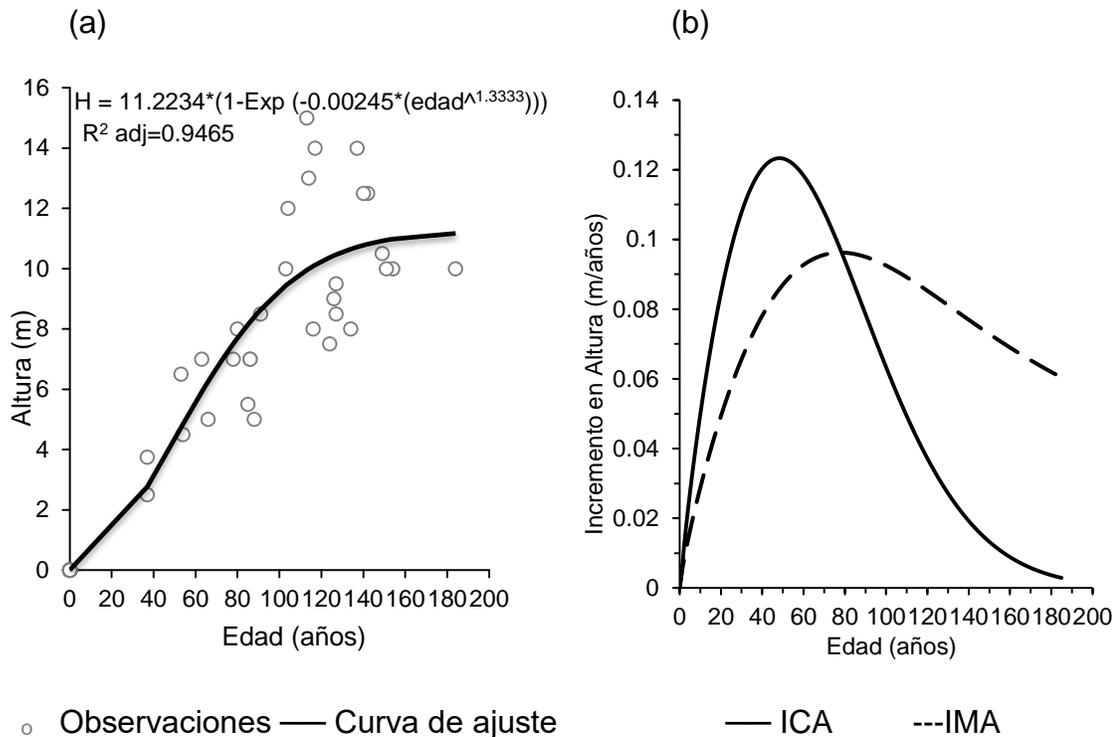


Figura 4 Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-altura para la especie *Pinus cembroides* Zucc. de la población natural en Salaverna, Zacatecas.

La respuesta del crecimiento en altura y diámetro (Figuras 4, 5, 6 y 7) de las poblaciones se muestra de manera sigmoïdal, esto debido a que en su mayoría son árboles maduros, las curvas de incrementos muestran el punto donde coinciden siendo éste su turno absoluto para la variable altura a los 79 y 39 años para Salaverna y Jamé respectivamente, mientras que para la variable diámetro se cumple a los 67 y 115 años.

El crecimiento de la población Salaverna para la variable altura y diámetro se muestra de forma sigmoïdal, esto se debe a que dicha población llegó a su máximo

crecimiento, ya que presenta en su mayoría árboles maduros, esta condición tiende a tomar dicha forma, mientras que para la población de Jamé tiene crecimiento exponencial la curva, debido a que la población está conformada por árboles más jóvenes, correspondientes a una especie de lento crecimiento (Gómez-Romero *et al.* 2012). Esta última forma de crecimiento es común observarse en plantaciones jóvenes con especies de rápido crecimiento como *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Bar y Golf en la sabana Oaxaca (Fierros y Ramírez, 1990).

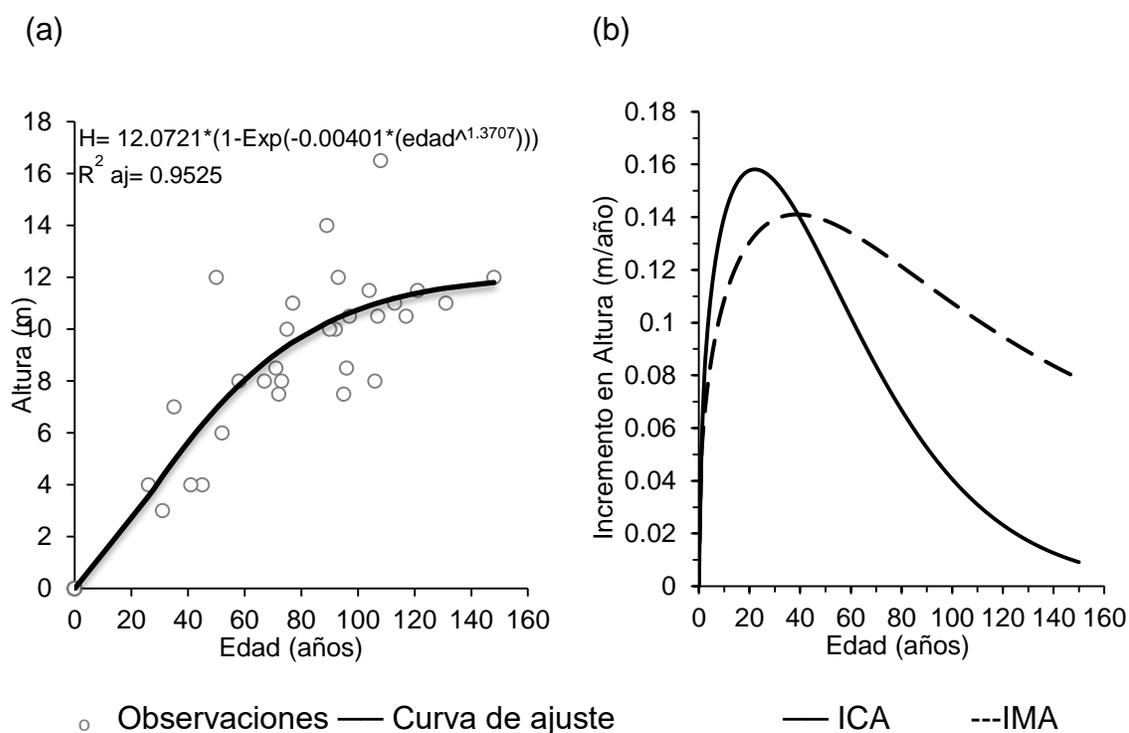


Figura 5. Curva de crecimiento con el modelo Weibull (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-altura para la especie *Pinus cembroides* Zucc., de la población natural localizada en Jamé, Coah.

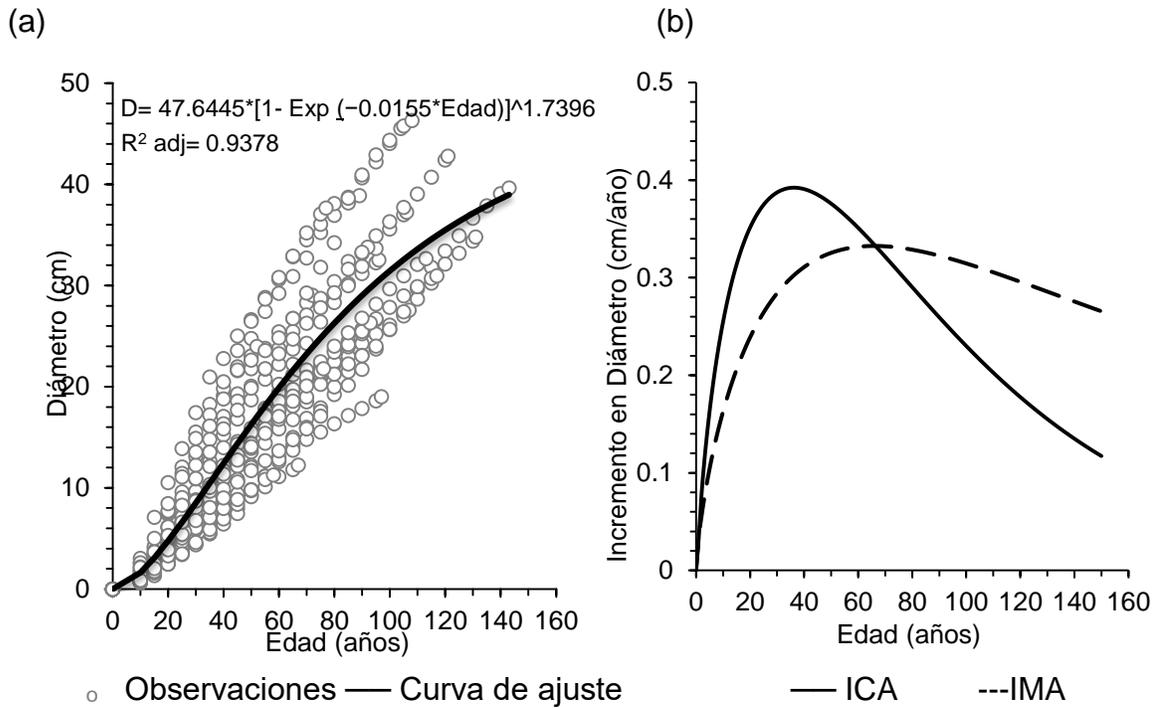


Figura 6. Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro para la especie *Pinus cembroides* Zucc., de la población natural localizada en Salaverna, Zacatecas.

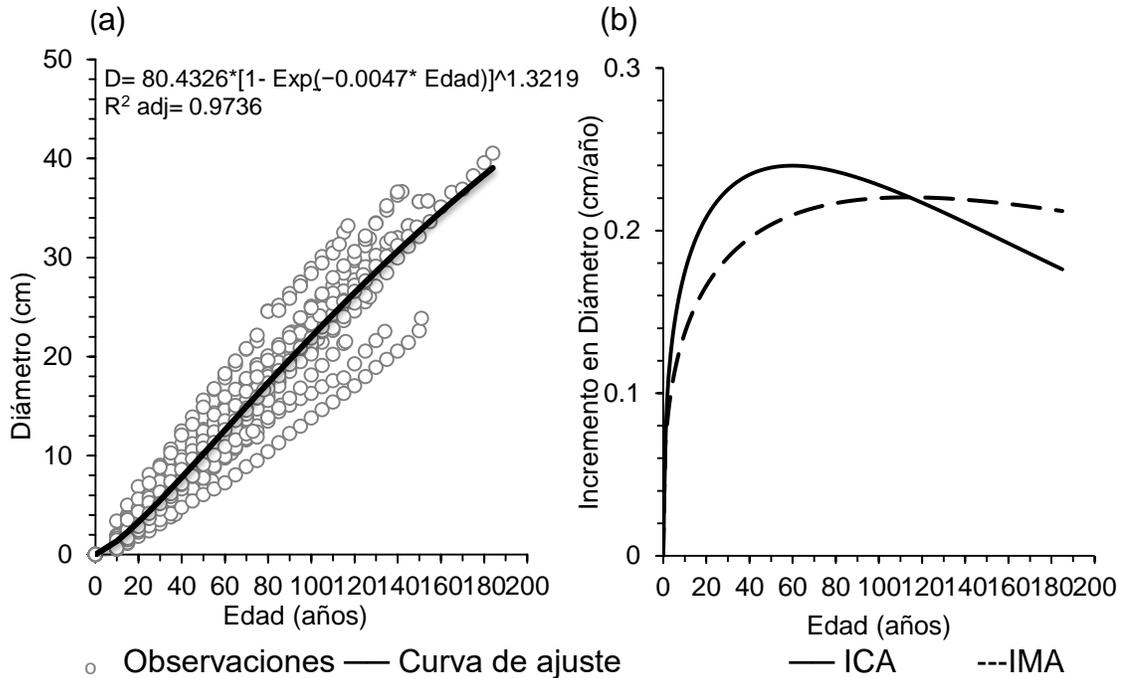


Figura 7. Curva de crecimiento con el modelo Chapman-Richards (a) y curvas de incrementos (b) derivadas para la relación edad-diámetro para la especie *Pinus cembroides* Zucc., de la población natural localizada en Jamé, Coahuila.

Dichas diferencias mencionadas, entre formas de curvas es posible que se deban a que en Jamé se encuentra una mayor densidad de árboles en comparación con Salaverna, lo cual se refleja que Jamé presente el turno en altura a más temprana edad mientras que en Salaverna resulta a una edad más tardía, mientras que, en diámetro, Salaverna presenta un turno absoluto a menor edad que en Jamé. Por lo tanto en Jamé hay mayor competencia en altura, provocando que el crecimiento de los árboles sea más lento, por el contrario, en las poblaciones con menor densidad hay mayor incremento en diámetro (Klepac, 1983).

Se observa en las mismas figuras mencionadas con antelación que en los árboles tanto en altura como en diámetro el ICA aumenta de forma acelerada pero un poco antes de llegar a la mitad alcanza un punto máximo y comienza a disminuir continuando de forma más lenta (Prodan *et al.*, 1997). Las variaciones encontradas en las formas de las curvas de incrementos entre estas dos poblaciones pueden deberse a posibles diferencias de los árboles seleccionados, así como consecuencia del medio ambiente y competencia por densidad (Ricker y del Rio, 2004; Domínguez-Calleros *et al.* 2016).

Otro ejemplo del diferente comportamiento que presentan las curvas es el estudio realizado por Rodríguez y Arteaga (2005) donde evaluó rodales coetáneos de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen en los estados de Veracruz y Puebla, en el cual hicieron ajustes al usar el método de diferencia algebraica con datos de análisis troncales. *P. chiapensis* es una especie de crecimiento rápido; por tanto, la tendencia del conjunto de datos presenta una forma sigmoide más vertical que otras especies y alcanza su máximo desarrollo en una edad más temprana (Rodríguez y Arteaga, 2005).

Si se compara el crecimiento en altura de plantaciones con el de bosques naturales de la misma especie, es evidente que las plantaciones tienen un mejor crecimiento, debido a que se aplican tratamientos silviculturales como deshierbes, podas, y aclareos (Domínguez-Calleros *et al.* 2016).

### 3.3 Comparación de IMA en diámetro entre plantaciones y poblaciones naturales

El IMA es un promedio anual del incremento total, se obtiene dividiendo las dimensiones de la variable de interés entre la edad. Una vez calculado el IMA en diámetro se realizó una comparación de acuerdo a las curvas de crecimiento en diámetro de las plantaciones a la edad de 29 a 39 años. Se realizó una comparación de medias considerando dos poblaciones (Jayaraman, 1999). En el Cuadro 6 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico.

Como se observa en el Cuadro 6, los resultados obtenidos del análisis estadístico donde se realizó una comparación de muestras pareadas se obtuvo que las plantaciones mostraron que es mayor el crecimiento (0.334) respecto a las poblaciones dentro del rango fijado que corresponde a 29-39 años de edad mientras que entre poblaciones naturales es importante destacar que Salaverna, sobresale con una media de (0.29), siendo éste mayor que la población de Jamé con una media de (0.186).

Cuadro 6. Comparación de muestras pareadas entre localidades.

Localidades	Media	Grados de libertad (gl)	Valor t	Pr> t
Campus y Reforestación UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila-Salaverna, Zacatecas.	0.044	10	121.49	<.0001
Campus y Reforestación UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila-Jamé, Coahuila.	0.148	10	98.7	<.0001
Salaverna, Zacatecas–Jamé Coahuila.	0.103	10	57.05	<.0001

Por lo tanto, se puede decir que las plantaciones ubicadas en Saltillo presentan mayor incremento medio anual en diámetro en el rango de 29 a 39 años de edad respecto a las poblaciones naturales. Estas diferencias se pueden deber a condiciones edáficas y climáticas, además de condiciones de densidad (García, 1964; Klepac, 1983; INEGI, 2004; CONAGUA, 2015).

En el caso de los tipos de suelos en las plantaciones predominan del tipo xerosol que se caracterizan por ser suelos áridos con una capa de materia orgánica, con minerales arcillosos a diferencia de las poblaciones que son suelos litosoles considerados suelos delgados con un grosor menor de 10 cm, con un estrato duro, formado de roca o caliche (INEGI, 2004), lo anterior indica que las plantaciones se desarrollan en una condición de suelo más favorable.

Por otro lado con respecto a las condiciones climáticas, ambas poblaciones presentan temperaturas media anual de entre 12° y 18° C y para las plantaciones las temperaturas son de 18° a 22° grados, esas condiciones pueden influir en el crecimiento. En cuanto a la precipitación para las poblaciones presenta lluvias mayores al 18% anual entre 400 a 700 mm por año, mientras que en las

plantaciones se tienen precipitaciones entre el 5 y 10.2 % anual (García, 1964; CONAGUA, 2015).

Con respecto al análisis mencionado se considera que el mayor IMA en diámetro se deba posiblemente al tipo de suelo, además de la competencia debido a la densidad. ((INEGI, 2004; Domínguez-Calleros *et al.* 2016).

#### 4 CONCLUSIONES

Se modeló adecuadamente el crecimiento para altura y diámetro de *P. cembroides* utilizando los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Weibull.

Los modelos seleccionados para plantaciones y para poblaciones naturales fueron Weibull para altura y Chapman-Richards para diámetro.

El incremento medio anual en diámetro para las plantaciones en conjunto, es mayor que en poblaciones naturales de *P. cembroides*, para el periodo de 29 a 39 años de edad.

La hipótesis nula se rechaza, ya que existe diferencias significativas en plantaciones y poblaciones de *P. cembroides* de IMA en diámetro entre el periodo de 29 a 39 años de edad.

## 5 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más trabajos donde se evalué el crecimiento de la especie *P. cembroides* debido a que es una especie de importancia para el establecimiento de plantaciones en áreas de restauración en zonas áridas debido a que es una especie que se adapta a condiciones extremas edáficas y climáticas.

Evaluar las condiciones climáticas y edáficas para poder determinar con exactitud cuál fue el factor que marca la diferencia en el crecimiento de la especie en plantaciones y poblaciones.

Considerar los valores de criterio de información Akaike (AIC) y criterio de información Bayesiano (BIC), con la finalidad de seleccionar con mayor confiabilidad el modelo óptimo.

Revisar si hay un mayor número de muestras aumenta la confiabilidad en el ajuste de los modelos.

Las curvas de crecimiento e incremento para esta especie se sugieren como herramientas de apoyo en el manejo forestal para actividades silvícolas como podas, aclareos y planes de corta en base a los turnos determinados.

Se recomienda que se comparen los años de las plantaciones con el año que le corresponde a las poblaciones naturales para que la comparación del crecimiento sea más exacta y no se vea afectada por factores climáticos.

Debe considerarse la medición de la densidad en número de árboles y en área basal para poder discutir con mayor precisión los resultados.

## 6 LITERATURA CITADA

- Aguilar P. G., W. Santiago J., D Martínez S. y R Ortiz B. 2016. Análisis del crecimiento e incremento y estimación del índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. En Santiago Textitlán, Sola de la Vega, Oaxaca. Foresta Veracruzana, 18 (2): 21-28.
- Arano-Santos, G., J. A. Torres-Pérez, B. Arteaga-Martínez y J. Santillán-Pérez. 2003. Evaluación de las plantaciones establecidas por el prodeplan en el sur de Veracruz (1998 - 2003). Universidad Chapingo. Texcoco, Estado de México. 20 p.
- Arteaga-Martínez, B. 2001. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayotoxtla, Guerrero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 6(2): 151-157.
- Ayerde, L. D. 1996. Análisis de curvas de crecimiento de árboles y masas forestales. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. 255 p.
- Calvillo-García, J. C., E.H. Cornejo-Oviedo S. Valencia-Manzo y C. Flores-López. 2005. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, México. Foresta Veracruzana, 7(1): 5-10.
- Castellanos B., J. F., F. Becerra L., M. Gómez C. y M. Ruíz M. 1994. Problemática prioritaria de investigación forestal en el estado de Oaxaca. In: Memoria Simposio y II Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. pp. 52-53.

- Cepeda C., P. A. 2013. Impacto de las heladas en el arbolado de *Pinus halepensis* Miller en la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Departamento Forestal, División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 47 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Región Manzanera-Zapaliname (0511) Estado de Coahuila. DOF. 30 P. Consulta en línea: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102851/DR\\_0511.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102851/DR_0511.pdf). Fecha de consulta 13-06-2018.
- Constante G., V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E.H. Cornejo O. y S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el sureste de Coahuila. Ciencia Forestal en Mexico, 34: 17-39.
- Corral, S y J. J. Návar- Cháidez. 2005. Análisis de crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. Madera y Bosques, 11(1): 29-47.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2018. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.05-06-2018.Camara de Diputados del H. Congreso de la Union. Secretaria General. Secretaria de Servicios Parlamentarios. Ciudad de México. 50 P. Consulta en línea: [http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG\\_DE\\_DESARROLLO\\_FORESTAL\\_SUSTENTABLE.pdf](http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG_DE_DESARROLLO_FORESTAL_SUSTENTABLE.pdf). Fecha de consulta 13-06-2021.
- Domínguez-Calleros P. A., F.de J. Rodríguez-Flores.,L. Lizárraga-Mendiola., M.A. Jiménez-Gómez. Y J. Navar. 2016. Aplicaciones y ejemplos de modelos de

- crecimiento diamétrico para árboles tropicales. Crecimiento diamétrico de árboles tropicales. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11):265-274. 10 p.
- Dvorak, W. S., A. P. Jordon, G. P. Hodge y J. L. Romero. 2000. Assessing evolutionary relationships of pines in the Oocarpae and Australes subsections using RAPD Markers. *New Forests*, 20: 163-192.
- Farjon, A. C y Page, C. N., 1999. Conifers: status survey and conservation action plan. IUCN/Species Survival Commission Conifer Specialist Group, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Gland, Switzerland. Chicago EUA. 121 p.
- Fierros, A. y M. H. Ramírez. 1990. Índice de sitio para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en "La Sabana", Oaxaca, México. En manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple. Acta reunión IUFRO CATIE. Guatemala. 459-471 p.
- García, E. 1964. Modificaciones a los sistemas de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 98 p.
- Gómez T., J. 2006. Índice de sitio y rendimiento maderable en una plantación comercial de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden y *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, en el norte del Estado de Oaxaca. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, México 66 p.
- Gómez-Romero M., J. C. Soto-Correa y J. A. Blanco-García. 2012. Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia*, 46: 795-807 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 de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 121 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 de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 98 p.
- Hernández-Ramos J., G. G. García-Espinoza, X. García-Cuevas, H.J. Muñoz-Flores, J.C. Velarde-Ramírez, E.H. Olvera-Delgadillo y J.J. García-Magaña. 2016. Ecuaciones de crecimiento e incremento para definir turno de corta y madurez financiera en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. Revista Forestal Baracoa, :35: 1-9.
- Imaña E. J. y O. Encinas B. 2008. Epidimetría forestal. Universidad de Brasilia. Departamento de de Engenharia Florestal Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Venezuela. 72 p.
- INEGI. 2004. Guía para la identificación de cartografía. Edafología. 10 p.
- INEGI. 2016.a Conjunto de datos climáticos 1:250000. INEGI, México.
- INEGI. 2016.b Conjunto de datos de uso de suelo y vegetación 1:250000. INEGI, México.
- INEGI. 2016.c Conjunto de datos edafológicos 1:250000. INEGI, México.
- INEGI. 2016.d Conjunto de datos geológicos 1:250000. INEGI, México.
- INEGI. 2017. Conjunto de datos hidrográficos 1:250000. INEGI, México.

- Jayaraman K.1999. A Statistical manual for forestry research. Kerala Forest Research Institute, Peechi, Thrissur, Kerala, India. 234 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Segunda Edición. Universidad Autónoma Chapingo, México 297 p.
- Lucio D., C. 2011. Supervivencia, crecimiento y arquitectura de copa en tres procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. en el CAESA, Arteaga, Coah. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 71 p.
- Monárrez, G. J. C. y J. A. López H. 2010. Modelos matemáticos para predecir el crecimiento, como herramienta en el manejo de los recursos forestales maderables. Desplegable técnico Núm. 45. INIFAP, Campo Experimental Valle del Guardian. El Mezquital, Durango. 1-2 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2000. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000. Informe principal. Estudio FAO: Montes. FAO. Roma. 468 p.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 231 p.
- Price, R. A., 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., Peters, R., COX, F. y Real, P. 1997. Mensura Forestal. Serie investigación y educación en desarrollo sostenible. San José, Costa Rica, IICA. 562 p.

- Ricker M. y del Río J. 2004 Projecting diameter growth in tropical trees: a new modeling approach. *Forest Science*, 50: 213-224.
- Ríos-Carrasco E., R. de Hoogh y J. J. Návar C. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el nordeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(2):97-104.
- Rodríguez, A. M., y B. Arteaga M. 2005. Índice de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en los estados de Veracruz y Puebla, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11: 39-44.
- Romero-Hernández, A. E. 2005. Tabla de volúmenes para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en su área de distribución natural en los estados de Puebla y Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 92 p.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p. [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetaciónMx\\_Cont.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetaciónMx_Cont.pdf). Fecha de consulta:13 de junio de 2021.
- Salazar, R. y C. Soihet. 2001. Manejo de semillas de 7 especies forestales de América Latina: Volumen II. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 156 p.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques*, 14(1):107-120.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Gobierno del Estado de Nuevo León. 1998. Los incendios en Nuevo León, México durante el verano de 1998. Laboratorio de Información Georreferenciada, Centro de Calidad Ambiental,

- ITESM Campus Monterrey; Facultad de Ciencias Forestales Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. 20 p.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Campaña estatal de protección contra incendios forestales 2002. Resultados finales. Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y Recursos Naturales, SEMARNAT Delegación Federal en Nuevo León. Monterrey, N. L., México. 42 p.
- Sit, V. y Poulin-Costello. 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. V8W 3E7. 110 p.
- Sosa A. M.A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en rodales localizados al sureste de Coahuila y sur de Nuevo León. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75 p.
- Torres R. J., M. y O. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa, Noriega Editores. México. 472 p.
- Valerio, J. 1997. Informe de consultoría, crecimiento y rendimiento. Documento Técnico 51. Proyecto Bolfor, Santa Cruz, Bolivia. 34 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield; Applications to mixed tropical forests. Centre for Agriculture and Biosciences International. Wallingford, U. K. 312 p.
- Vázquez G., Y. D., 2015. Crecimiento de cinco especies de *Pinus* en una plantación a 27 años de establecida en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 70 p.

- Yeaton, R. I. 1982. The altitudinal distribution of the genus *Pinus* in the western United States and México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 42:55-71.
- Zamudio, S. F. J. y Ayerde, L. D., 1997. Modelos de crecimiento. Revista Chapingo: Serie de Ciencias Forestales, 3 (1): 79-87.
- Zúñiga-Hernández, J. V. 2013. Índice de sitio para tres especies de *Pinus* en plantaciones mixtas, Miahuatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 69 p.