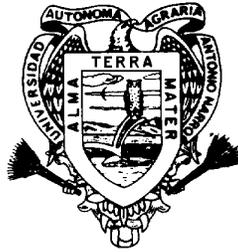


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



CRECIMIENTO DE *Picea mexicana* Martínez EN LAS POBLACIONES
NATURALES DE MÉXICO

POR:

DOMINGO LÓPEZ LÓPEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

CRECIMIENTO DE *Picea mexicana* Martínez EN LAS POBLACIONES
NATURALES DE MÉXICO

POR:

DOMINGO LÓPEZ LÓPEZ

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL



ASESOR PRINCIPAL

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

APROBADA:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
AGRONOMÍA

DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ
BADILLO

Division de Agronomía
Coordinación.

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CRECIMIENTO DE *Picea mexicana* Martínez EN LAS POBLACIONES
NATURALES DE MÉXICO

POR:

DOMINGO LÓPEZ LÓPEZ

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

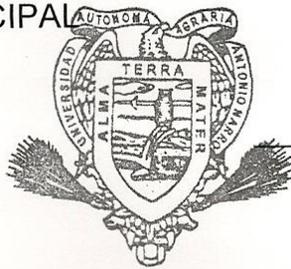
M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

ASESOR

DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ



DEPARTAMENTO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2009

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02.03.0207.2412 a cargo del M.C. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mis padres: MARÍA LÓPEZ SÁNCHEZ Y ANTONIO LÓPEZ †. Quienes me dieron vida y alegría. En especial a mi madre, por su apoyo en los momentos difíciles y por sus consejos. A mi padre, que Dios lo tenga en su santa gloria.

A mis hermanos por ser mis mejores amigos, en especial a mi hermana Rosa y mi hermano Francisco, por su apoyo incondicional en los momentos difíciles de mi carrera.

A todos mis familiares que de alguna forma influyeron en la culminación de mi carrera, en especial a mi primo Lic. Mariano López Pérez que me estuvo inculcando para seguir estudiando y por el apoyo económico que me brindó durante la trayectoria de mi carrera.

Y todas aquellas personas quienes me estuvieron apoyando, y que en este momento no se me vienen a la mente.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por prestarme vida y permitir culminar mi carrera profesional, siendo para mí algo valioso en la vida.

A mi *Alma Mater* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por permitirme formarme como profesionista en el ámbito forestal.

A todo el personal del Departamento Forestal, por brindarme su apoyo y servicio durante mi preparación profesional.

De manera muy especial al M.C. Celestino Flores López, por su disposición permanente e incondicional en el asesoramiento científico para la elaboración de este trabajo. Por su amistad, apoyo y consejos que me brindó durante mi preparación profesional.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo; por su amistad y consejos durante mi estancia en la Universidad.

Al Dr. Jorge Méndez González, por la asesoría pertinente que me brindó en la mejora del presente trabajo.

A la Secretaría de los Pueblos Indios (SEPI), San Cristóbal de las Casas, Chiapas, por otorgarme la beca durante mi preparación profesional.

A mis compañeros de la generación CVI, por vivir momentos inolvidables con ellos durante mi estancia en la Universidad, en especial a mis tres grandes amigos: Adolfo Vega, J. Luis Véliz y Javier Carrillo, por su apoyo incondicional y amistad.

A todos, *Gracias...*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.	iv
RESUMEN.	v
1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Objetivos.	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.	4
2.1 Crecimiento e incremento de un bosque.	4
2.2 Técnicas de medición de crecimiento.	6
2.2.1 Métodos indirectos.	6
2.2.2 Métodos directos.	7
2.3 Curvas de crecimiento.	7
2.4 Modelos de crecimiento.	8
2.5 Estudios de crecimiento en México.	9
2.5.1 Estudios de crecimiento de especies del género <i>Pinus</i> en México.	9
2.5.2 Estudios de crecimientos de especies del género <i>Picea</i> en México.	9
2.6 Descripción y estatus de conservación de <i>Picea Mexicana</i> Martínez.	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS.	13
3.1 Descripción de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i>	13
3.2 Análisis de crecimiento de <i>Picea mexicana</i>	16
3.2.1 Sistema de muestreo.	16
3.2.2 Variables registradas en campo.	16
3.2.3 Modelos de crecimiento.	18
3.3 Incremento de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	20
4 RESULTADOS.	21
4.1 Crecimiento de <i>Picea mexicana</i>	21
4.1.1 Crecimiento general.	21
4.1.2 Crecimiento por población.	23

4.2 Incremento de <i>Picea mexicana</i>	24
4.2.1 Incremento general.	26
4.2.2 Incremento por población.	26
5 DISCUSIÓN.	29
6 CONCLUSIONES.	34
7 RECOMENDACIONES.	35
8 LITERATURA CITADA.	36
APÉNDICE.	42

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Algunos estudios de crecimiento de especies del género <i>Pinus</i> en México.	10
Cuadro 2. Estudios de crecimiento del género <i>Picea</i> en México.	11
Cuadro 3. Localización de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez en Nuevo León, Coahuila y Chihuahua.	13
Cuadro 4. Aspectos ecológicos de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez de Nuevo León, Coahuila y Chihuahua.	15
Cuadro 5. Árboles muestreados por población de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	17
Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la representación del crecimiento en altura, diámetro normal y área basal en árboles de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	19
Cuadro 7. Modelos seleccionados para altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	21
Cuadro 8. Modelos seleccionados por variables y por poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	23
Cuadro 9. Modelos seleccionados para altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	29
Cuadro 10. Modelos seleccionados por variables y por poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Distribución de las poblaciones naturales de <i>Picea mexicana</i> Martínez en México.	14
Figura 2. Curvas de crecimiento ajustadas de edad-altura (a), edad-diámetro normal (b) y edad-área basal (c) de las tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	22
Figura 3. Curvas de crecimiento de edad-altura (a), edad-diámetro normal (b) y edad-área basal (c) por población de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	25
Figura 4. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para las variables altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.	27
Figura 5. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura, diámetro normal y área basal para las poblaciones: a) El Mohinora, Guadalupe y Calvo, Chihuahua; b) El Coahuilón, Arteaga, Coahuila y c) La Marta, Rayones, Nuevo León.	28
Figura 6. Crecimiento en altura (a), diámetro normal (b) y área basal (c) de <i>Picea mexicana</i> Martínez, <i>P. martinezii</i> T.F. Patterson y <i>P. chihuahuana</i> Martínez.	31

RESUMEN

Picea mexicana Martínez es una de las tres especies de *Picea* considerada en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001. Son escasos los estudios ecológicos y en especial el conocimiento de las estructuras de edades; por esta razón el propósito de este estudio fue analizar el crecimiento en altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones naturales de *P. mexicana* utilizando virutas de crecimiento.

En las poblaciones de la Sierra La Marta, N.L., Sierra El Coahuilón, Coah. y Cerro El Mohinora, Chih., se seleccionaron 117, 89 y 139 árboles respectivamente, para las diferentes categorías diamétricas se determinó la edad utilizando el taladro de Pressler. Para las variables alométricas edad-altura, edad-diámetro, edad-área basal, se emplearon trece modelos de crecimiento: Von Bertalanffy, Chapman-Richards, Monomolecular, Logístico, Gompertz, Schumacher, Weibull, Levakovic I, Levakovic III, Korf, Sloboda, Hossfeld IV, Yoshida I. En la selección del mejor modelo se consideró el valor mayor de los coeficientes de determinación (R^2) y el ajustado (R^2_{aj}), y el menor valor del cuadrado medio del error.

El ajuste de los modelos de crecimiento con respecto a los estadísticos varía entre las poblaciones de *Picea mexicana*. Sobresaliendo el modelo Weibull para altura en el Coahuilón y en área basal de la población de La Marta. Los valores del coeficiente de determinación en la población de El Mohinora fueron bajos (R^2_{aj} 0.25-0.42), mientras que en El Coahuilón presentaron valores altos (R^2_{aj} 0.56-0.68).

La respuesta de las curvas de crecimiento de *P. mexicana* para las variables altura y diámetro normal son logarítmicas cóncavas a diferencia de la curva en área basal que es exponencial ascendente. Las curvas de crecimiento de las poblaciones de El Coahuilón y La Marta también son logarítmicas, mientras que las curvas de El Mohinora son exponenciales. La forma logarítmica de las curvas de crecimiento es producto de la variación en la apertura del dosel. La mayor dimensión en altura se presenta en la población de El Mohinora, mientras que en diámetro normal y área basal las poblaciones de El Mohinora y El Coahuilón son similares después de la edad de 210 años.

Palabras clave: *Picea mexicana*, modelos de crecimiento.

1 INTRODUCCIÓN

El concepto crecimiento de un árbol o del bosque se ha entendido generalmente como el desarrollo o aumento en altura, diámetro y volumen de un individuo o población en un determinado periodo de tiempo (Klepac, 1976; Prodan *et al.*, 1997). Otro término importante relacionado con el crecimiento es el incremento, éste se refiere al crecimiento del árbol en un determinado periodo de tiempo (Klepac, 1976).

El crecimiento en los árboles está en función de la calidad del sitio que incluye el clima, el suelo y la topografía del terreno principalmente; así como también las características de edad, genética, vigor, densidad e historia de los árboles, lo cual afectan la adaptabilidad natural de la especie (Groothusen, 1983). Sin embargo, el factor competencia es importante y el más controlable a través del manejo silvícola (Prodan *et al.*, 1997).

En los árboles de clima templado las capas de crecimiento anual se aprecian claramente y generalmente se forma una por año constituyendo los anillos anuales de crecimiento (Klepac, 1976; Hocker, 1984; Kozlowski, 1991). Ocasionalmente pueden producirse varios anillos en un año, llamados anillos falsos (Kozlowski, 1991); también se pueden formar anillos discontinuos o parciales, que no completan la circunferencia del tronco; estas variantes en la formación de anillos es debido a cambios en la fenología de floración, latencia en el cambium, copas lesionadas entre otros factores (Klepac, 1976; Daniel *et al.*, 1982; Kozlowski, 1991).

La formación de los anillos anuales de crecimiento en los árboles ayuda a definir la edad de un árbol o de una comunidad forestal y también sirve para determinar la tasa de crecimiento de un árbol o un bosque en un tiempo determinado (Klepac, 1976).

Existen dos métodos ampliamente utilizados para realizar las estimaciones de crecimiento e incremento: el método de análisis troncal y el de taladro de Pressler (Klepac, 1976; Alder 1980). En el método de análisis troncal el árbol debe ser derribado y de éste se toman secciones o rodajas transversales; una de ellas se toma a una altura

de 20 a 30 cm con respecto al suelo, la segunda se toma a la altura del pecho (1.30 m), mientras que las demás se obtienen a una distancia de 2 ó 3 metros equidistante unas de otras (Klepac, 1976). En cambio, con el taladro de Pressler se barrena el árbol por lo general a la altura del diámetro normal para extraer muestras de madera de forma cilíndrica que permite ver y contar los anillos anuales de crecimiento (Villanueva *et al.*, 2004).

El estudio de crecimiento de los árboles ayuda a estimar el rendimiento de un bosque a una edad o periodo determinado, a optimizar tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de producción predefinidos, a estimar fechas y actividades de cosecha, así como planificar actividades de protección y cultivo (Torres y Magaña, 2001). Además ayuda a elaborar tablas de producción, describiendo las características de las variables dasométricas más importantes de un rodal en función de la edad y altura para determinar la clase de calidad de estación (Klepac, 1976; Flores, 1983) y a elaborar curvas de índice de calidad de sitio (Groothusen, 1983).

La mayoría de los estudios sobre crecimiento realizados en México se han realizado preferentemente en especies del género *Pinus*. Estos trabajos se han desarrollado principalmente para la estimación de la calidad del sitio con base en índices de sitio (Benavides y Manzanilla, 1993; Monroy, 1996) y para el análisis de crecimiento (Montero y Fierros, 1995; Romero-Gutiérrez y Ramírez-Maldonado, 1997; Aguilar, 1997).

Para especies del género *Picea*, los estudios son muy escasos. De las tres especies que existen en México, solamente se ha hecho un estudio de crecimiento para cada una de ellas. En *Picea martinezii* T.F. Patterson se realizó una descripción de crecimiento e incremento en altura, en diámetro normal y en área basal de las tres poblaciones (Gómez, 2007). En el caso de *Picea chihuahuana* se analizó el crecimiento de dos árboles (Salas y Vega, 1999). Mientras que para *Picea mexicana*, especie de interés en este estudio, solo se tiene un trabajo sobre dinámica de crecimiento en diámetro normal y en altura de árboles en las tres únicas poblaciones naturales (Flores

y Geada, 2006). Sin embargo, en este presente estudio se evaluarán diámetros de categorías diamétricas de 5 a 15 cm.

Las tres especies de *Picea* mencionadas anteriormente son consideradas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 como especies en categoría de peligro de extinción. En esta norma no se consideran como endémicas en el país (SEMARNAT, 2003). Sin embargo, Ledig *et al.* (2004) las consideran especies relictas y endémicas a México.

Considerando que las *Piceas* requieren de un plan de conservación es necesario llevar a cabo ciertos pasos para su planificación y uno de esos pasos es la obtención de información detallada sobre la estructura por edades para conocer la condición de reproducción del rodal y el crecimiento del bosque (Odum, 1972; Thomson, 2002).

En el presente estudio se complementa y aumenta la base de datos del trabajo realizado por Flores y Geada (2006), debido a que se incluyeron pocos datos de árboles de categorías diamétricas menores (de 5 a 15 cm). Por esta razón, se desea complementar el estudio agregando muestras de las categorías faltantes.

En este estudio se analizó el crecimiento e incremento de las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana*, utilizando virutas de crecimiento y sitios permanentes de muestreo. En este trabajo se optó por el método de taladro de Pressler, debido a que la especie de interés está en status de peligro de extinción y está prohibida la extracción de árboles completos. Con la incorporación de un mayor número de datos de categorías faltantes cambiarán el ajuste de los modelos y se tendrá una mejor estimación de los crecimientos en las diferentes categorías diamétricas.

1.1 Objetivo

Analizar el crecimiento de las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez utilizando virutas de crecimiento.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Crecimiento e incremento de un bosque

El crecimiento es atribuible a la división y expansión de las células de una capa de cambium localizada entre la corteza y la madera. Como consecuencia del crecimiento cambial, cada año se insertan nuevas capas de madera y de corteza interna, entre la capa de madera y la corteza del año anterior produciendo un aumento en el diámetro del tronco (Kozlowski, 1991) y formando en muchas coníferas los anillos anuales de crecimiento (Hocker, 1984).

Los anillos anuales de crecimiento se comienzan a formar en primavera, la capa de dos a tres células de espesor del tejido cambial se reactiva al hidratarse, las células se expanden en dirección radial, las paredes radiales se adelgazan y el citoplasma se vuelve menos denso. Dos o cuatro semanas después se inician las divisiones del cambium; llegando a ser de 10 a 15 células (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984). Como resultado de las divisiones se presentan variaciones en la tasa de crecimiento y en el tipo de madera producida (temprana o tardía). La madera que se forma primeramente es la temprana o de primavera, ésta tiene los elementos traqueales más anchos y de paredes delgadas, dando al leño un aspecto blando y de color blanco; en cambio el tejido de madera tardía generado en verano es de paredes gruesas y los elementos traqueales más angostos, adquiriendo mayor solidez y de color más oscuro (Hocker, 1984; Kozlowski, 1991).

Los árboles de un bosque presentan diferentes ritmos de crecimiento, teniendo como consecuencia la diferencia en el desarrollo o incremento de un bosque con respecto al de un árbol (Klepac, 1976). En los árboles se pueden manifestar diferentes formas de crecimientos: crecimiento en diámetro, crecimiento en área basal, crecimiento en altura y crecimiento en volumen (Villa, 1963).

El crecimiento en diámetro es útil para calcular el tiempo que empleará un árbol o un rodal en alcanzar una clase diamétrica determinada (Villa, 1963). Este incremento es

afectado por la densidad del rodal; mientras más denso sea, el incremento es menor (Klepac, 1976).

El crecimiento en área basal es una función directa del incremento en diámetro y se define como el área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura de 1.30 m (Villa, 1963; Ek, 1991) y se calcula multiplicando el cuadrado del valor promedio del incremento radial por 3.1416 (Villa, 1963). El área basal es una de las características más prominentes en la descripción de un rodal; en relación con la influencia de la edad, la tasa de acumulación del área basal con la edad es una de las tasas de crecimiento más notables que se conoce en silvicultura. La especie arbórea también influye en el crecimiento del área basal, ya que hay especies que se estabilizan a cierta edad, sin importar la calidad del sitio (Daniel *et al.*, 1982; Prodan *et al.*, 1997).

Respecto al crecimiento en altura, el desarrollo se debe al alargamiento del eje cilíndrico del árbol debido a la división y expansión de muchas células en las terminales de crecimiento (llamados meristemos apicales) (Kozlowski, 1991). Dicho desarrollo está en función de la edad del árbol (Assmann, 1970). Generalmente las especies forestales crecen más rápidamente en altura que en diámetro (Villa, 1963); por lo que la densidad del rodal afecta negativamente el crecimiento en altura de los árboles (Daniel *et al.*, 1982; Ek, 1991).

El incremento en volumen en pies cúbicos de un rodal está en función de su área basal y su altura (Daniel *et al.*, 1982). Esta forma de crecimiento es la más útil para el manejo silvícola de los bosques (Villa, 1963). El incremento en volumen del árbol consiste en general de tres partes; la primera se refiere a la madera; la segunda al follaje, semillas y frutos, y la tercera a la parte que se pierde por medio de la transpiración (Klepac, 1976). Para determinar en forma adecuada este incremento, es necesario relacionar el incremento en diámetro con el volumen y la altura (Villa, 1963).

A partir del crecimiento total de un rodal, se pueden estimar diferentes tipos de incrementos, el incremento total (IT), el incremento periódico (IP), el incremento medio

anual (IMA), el incremento corriente anual (ICA) y el incremento en porcentaje (Villa, 1963; Klepac, 1976; Daniel *et al.*, 1982).

El IT es el que tiene lugar desde el nacimiento del árbol o del rodal hasta un momento determinado. El IP es aquel que se verifica en varios años; generalmente los periodos de tiempos a los cuales se refiere este incremento son de 5, 10 ó 20 años. El IMA es el resultado de dividir el volumen, diámetro, área basal o altura actual de un árbol o rodal entre su edad. El ICA es el incremento que tiene cada año el árbol o rodal. Y por último, el incremento en porcentaje es la relación entre el valor del incremento en volumen y el volumen de un árbol o rodal determinado (Villa, 1963; Klepac, 1976).

2.2 Técnicas de medición del crecimiento

De manera general existen dos métodos para determinar el incremento: el método indirecto y directo. El primero se puede clasificar en dos grupos: índices de productividad de Paterson y determinación del incremento con base a la cubierta vegetal. El segundo consiste en tomar medidas de forma directa y se puede clasificar en cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncal (Klepac, 1976).

2.2.1 Métodos indirectos

El índice de productividad de Paterson es determinado por medio de los factores climáticos, partiendo del hecho de que el clima es uno de los elementos esenciales en la producción forestal, limitándose a estudiar la temperatura, humedad, época del periodo de crecimiento e intensidad de la radiación (Klepac, 1976).

El análisis de la cubierta vegetal puede indicar la capacidad productiva de un bosque. En éste se presentan dos procedimientos: con respecto al tipo de bosque y a la comunidad vegetal. Por tipo de bosque se entiende como el grupo de árboles y otras plantas, los cuales se desarrollan por interacción de la flora y la calidad de estación, así como también por la influencia mutua de las plantas. Mientras que el segundo

procedimiento se basa en estudios en relación a las comunidades vegetales (Klepac, 1976).

2.2.2 Métodos directos

Las tablas de incremento y de producción describen las características de las variables dasométricas más importantes del rodal en función de la edad y altura para determinar la clase de calidad de estación (Klepac, 1976; Flores, 1983).

En el método de taladro de Pressler se barrena el árbol a una altura de 1.30 m sobre el suelo, se extraen las muestras de madera de forma cilíndrica permitiendo observar y contar los anillos anuales de crecimiento (Klepac, 1976; Husch *et al.*, 1982; Villanueva *et al.*, 2004).

El método de control se basa en los libros de registro del volumen del rodal en pie. Si estos libros son llevados apropiadamente, con seguridad pueden decir la fluctuación del volumen del rodal en pie, el incremento en el rodal inventariado, la incorporación de árboles en el rodal y finalmente la producción forestal (Klepac, 1976; Prodan *et al.*, 1997).

Por medio del método de análisis troncal se puede conocer el crecimiento e incremento el árbol durante toda su vida. Para esto el árbol debe ser derribado y de éste se toman secciones o rodajas transversales de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse precisamente a la altura del apeo (20-30 cm), y a la altura del pecho (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia unas de otras (1, 2 ó 3 m) si es posible (Klepac, 1976).

2.3 Curvas de crecimiento

La respuesta natural del crecimiento de los árboles es similar a una curva en forma de "S". Esta curva es inicialmente un poco cóncava, luego aumenta su pendiente

hasta tener un punto de inflexión y es denominada curva de crecimiento (Assmann, 1970; Klepac, 1976; Husch *et al.*, 1982).

La curva de crecimiento en altura tiene dos puntos de inflexión y un punto de culminación. La culminación en la curva de crecimiento ocurre en el mismo año que el punto de inflexión. Los dos puntos de inflexión marcan la diferencia en las características de las tres fases de la curva de crecimiento. El primer punto de inflexión es convexa en relación al eje de las "X", representa las características de la fase juvenil. Mientras que la segunda inflexión es cóncava en relación al eje de las "X", lo cual es denominado fase de completo vigor. Desde el segundo punto de inflexión, la curva nuevamente adquiere una forma convexa al eje de las "X"; el incremento decrece lentamente y es denominado fase de declinación (Assmann, 1970).

En tanto, la curva de crecimiento en diámetro del fuste es también en forma de "S" como la curva de crecimiento en altura, con la única diferencia de que la curva de crecimiento en diámetro es más plana y toma la forma de línea recta en su origen (Klepac, 1976).

Mientras que la curva de crecimiento en volumen tiene la misma forma que las otras dos curvas, pero el punto de inflexión en esta curva ocurre aún más tarde que en las curvas de incremento en altura y en diámetro, lo que tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen, es decir, no decrece tan rápido como el incremento en altura y en diámetro (Klepac, 1976).

2.4 Modelos de crecimiento

Un modelo de crecimiento es una abstracción de la dinámica forestal natural, abarcando crecimiento, mortalidad y otros cambios en la composición y estructura del rodal. Generalmente se usa el término modelo de crecimiento para hacer referencia un sistema de ecuaciones con una predicción de crecimiento y producción de un rodal bajo una amplia variedad de condiciones (Vanclay, 1994). Los modelos de crecimiento describen las tasas de crecimiento de los recursos forestales para las especies más

importantes de la unidad de manejo. También se pueden predecir cambios en la fertilidad del suelo o en el potencial de producción para las especies importantes, guiando las decisiones de los silvicultores (Adlard, 1983).

Los modelos de crecimiento, se pueden manejar desde tres aspectos principales: modelos basados en parámetros de rodales, modelos de árboles individuales y el desarrollo de técnicas intermedias entre los modelos que toman en cuenta la competencia entre las copas y utilizan parámetros medios del rodal (Alder, 1980; Adlard, 1983).

2.5 Estudios de crecimiento en México

2.5.1 Estudios de crecimiento de especies del género *Pinus* en México

La mayoría de los estudios sobre crecimiento realizados en México se han referido a índices de sitio, principalmente para especies del género *Pinus*. En el Cuadro 1 se presenta un resumen de algunos de los estudios que se han realizado.

2.5.2 Estudios de crecimiento de especies del género *Picea* en México

Para especies del género *Picea*, los estudios son muy escasos. De las tres especies que existen en México, solamente se ha hecho un estudio de crecimiento para cada una de ellas. En el Cuadro 2 se hace un resumen de los estudios realizados.

2.6 Descripción y estatus de conservación de *Picea Mexicana* Martínez

Esta especie presenta una altura de 25 a 28 metros, con tronco de 50 a 60 cm de diámetro, es de corteza lisa con un grosor de 15 a 18 mm, las placas son moreno blanquecinas. La ramificación empieza desde los dos o tres metros, presentando las ramas verticiladas, las de abajo están extendidas y las superiores son ascendentes formando una copa piramidal. Las ramillas son de colores amarillos opacos y finamente pubescentes. Las hojas presentan forma cuadrangular de 18 a 36 mm de largo por uno

Cuadro 1. Algunos estudios de crecimiento de especies del género *Pinus* en México.

Especie	Lugar	Descripción del estudio	Autor
<i>Pinus michoacana</i> <i>cornuta</i> Martínez y <i>Pinus oocarpa</i> Schiede	Área Demostrativa Forestal, Tapalpa, Jalisco	Estimación de la calidad del sitio con base en índices de Sitio	Benavides y Manzanilla, 1993
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Región de Huayacocotla, Veracruz	Índice de sitio	Monroy, 1996
<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	Región de Cd. Hidalgo, Michoacán	Estudio epidométrico e índice de sitio	Pereyra, 2003
<i>Pinus herrerae</i> Martínez	Región de Cd. Hidalgo, Michoacán	Índice de sitio	Mares, 2003
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> Barr. et Golf.	Plantaciones de la Sabana, Oaxaca	Estudios de crecimiento	Montero y Fierros, 1995
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Región de Huayacocotla, Veracruz	Análisis de crecimiento	Romero-Gutiérrez y Ramírez-Maldonado, 1997
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez y <i>P. lawsonii</i> Roezl.	Campo Experimental Barranca de Cupatitzio, Uruapan, Michoacán	Estudio de crecimiento	Aguilar, 1997
<i>Pinus rudis</i> Endl.	Ixtlán, Oaxaca	Predicción del crecimiento y rendimiento	De la Fuente et al., 1998
<i>Pinus patula</i> var. <i>longipedunculata</i> , Look ex Martínez, <i>P.</i> <i>pseudostrobis</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehrenb.	Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca	Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas	Hernández, 2003
<i>Pinus durangensis</i> Martínez, <i>P. Cooperi</i> Blanco, <i>P. leiophylla</i> Schl. et Cham., <i>P.</i> <i>engelmannii</i> Carr y <i>P.</i> <i>herrerae</i> Martínez	Región del Salto, Durango	Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México	Corral y Návar, 2005
<i>Pinus cooperi</i> Blanco	En el estado de Durango, Durango	Modelos de volumen y crecimiento en altura dominante para <i>Pinus</i> <i>cooperi</i> en el estado de Durango, México	Cruz, 2007

Cuadro 2. Estudios de crecimiento del género *Picea* en México.

Especie	Lugar	Descripción del estudio	Autor
<i>Picea martinezzi</i> T.F. Patterson	Agua Fría-Agua Lardín, El Butano y La Encantada en los Municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, estado de Nuevo León	Descripción de crecimiento e incremento en altura, en diámetro normal y en área basal de las tres poblaciones	Gómez, 2007
<i>Picea chihuahuana</i> Martínez	Chihuahua	Análisis de la estructura de su población y la comparación de ésta con la estructura de la población de sus competidores: <i>Pinus ayacahuite</i> y <i>P. patula</i>	Salas y Vega, 1999
<i>Picea mexicana</i> Martínez	El Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua	Dinámica de crecimiento en diámetro normal y en altura de los árboles de las tres poblaciones naturales en México	Flores y Geada, 2006

de ancho, la terminación de las hojas son corneas y pungentes; con tres o cuatro hileras de estomas en cada cara y no presentan canales resiníferos. Los conos masculinos subterminales en grupos de tres ovals, de 15 mm de largo por 10 de ancho; la prolongación escamiforme del conectivo rómbico orbicular es de 2.5 mm de largo por dos de ancho, con el borde superior eroso. Los conos femeninos tienen forma de oval de 5 a 6 cm, de color amarillento opaco, ya sea en la parte terminal o lateral del árbol. Las escamas son surómbicas, estriadas con el ápice redondeado, presentando borde superior con el ápice finamente eroso denticulados con una longitud de 14 mm por 10 a 12 de ancho. La bráctea dorsal es elíptica, acuminada, de 5.5 a 6 mm. Las alas son de 7 mm de largo por 5 de ancho; las semillas tienen forma de ovoide, es parda, de 3.5 mm por 2.5 de ancho (Martínez, 1961).

Picea mexicana se considera especie relictas debido a la distribución actual y el tamaño reducido de los bosques (Rzedowski, 1983). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 considera esta especie en la categoría de peligro de extinción;

en esta norma no se considera como endémica al país (SEMARNAT, 2003). Sin embargo, Ledig *et al.* (2004) la consideran especie relictiva y endémica a México. De acuerdo a la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (IUCN Red List of Threatened Species) también la consideran en la categoría de peligro de extinción, por las razones de que la superficie de las poblaciones es menor de 5000 km², presentan fragmentación severa y se conocen menos de cinco localidades, la extensión y la calidad de hábitat se siguen declinando (Conifer Specialist Group, 2000).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de las poblaciones de *Picea mexicana*

Las tres poblaciones en estudio de *Picea mexicana* se encuentran distribuidas en la Sierra Madera Occidental y en la Sierra Madre Oriental, dentro de los estados de Nuevo León, Coahuila y Chihuahua (Cuadro 3).

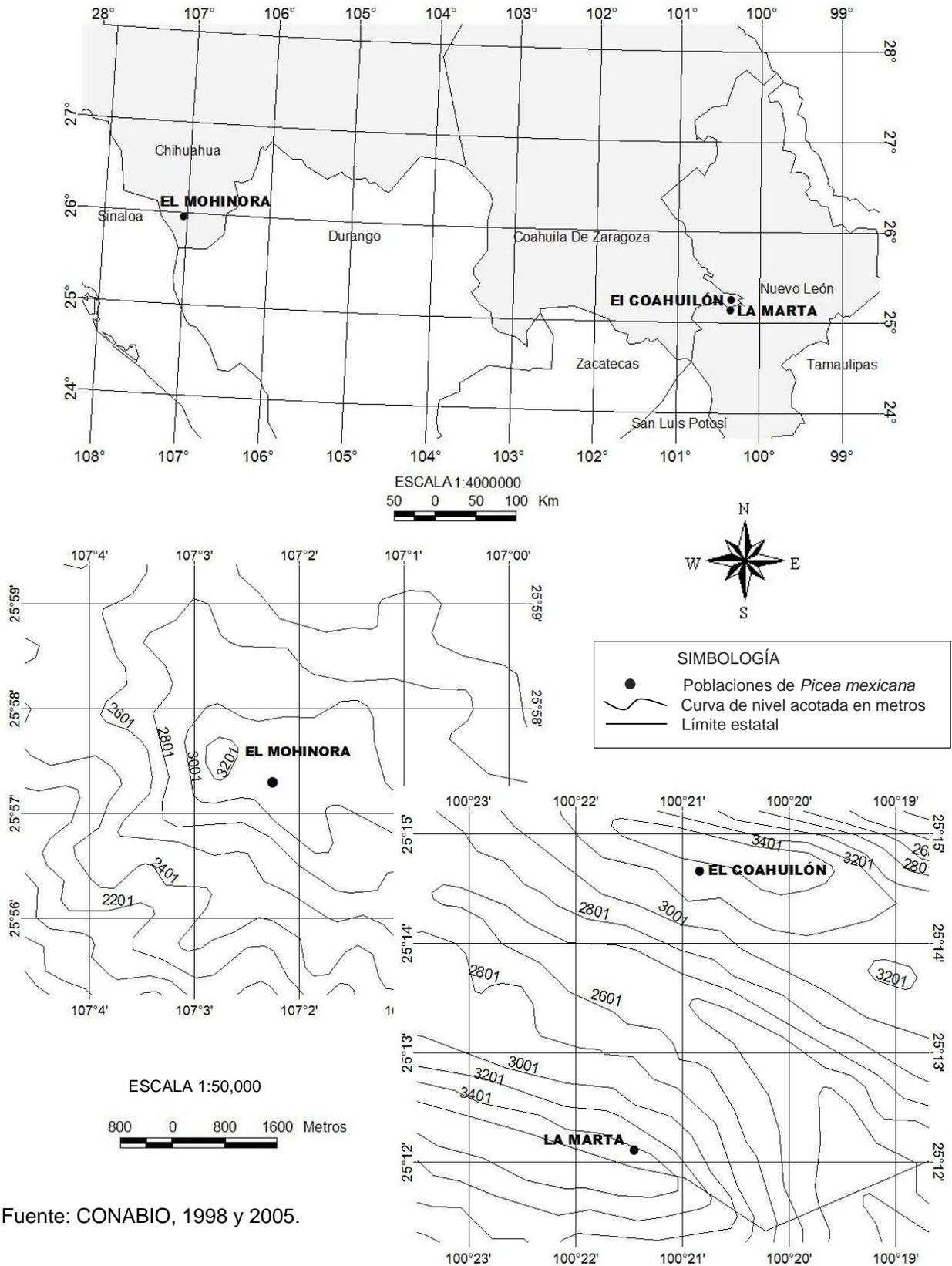
Cuadro 3. Localización de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en Nuevo León, Coahuila y Chihuahua.

Población	Propiedad	Municipio	Carta INEGI [†]	Latitud Norte (N)	Longitud Oeste (W)	Elevación (msnm)
Sierra La Marta	Propiedad privada Felipe de la peña	Rayones, Nuevo León	San Rafael G14C45	25° 11.9'	100° 21.8'	3500
Sierra El Coahuilon	Ejido Nuncio	Arteaga, Coahuila	San Antonio de las Alazanas G14 C35	25° 14.8'	100° 21.2'	3470
Cerro El Mohinora	Ejido El Tule y Portugal	Guadalupe y Calvo, Chihuahua	Guadalupe y Calvo G13A84	25° 57.7'	107° 02.4'	3185

[†]= Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática.

Fuente: Ledig *et al.*, 2004; Flores-López *et al.*, 2005.

Dos de las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* se encuentran en la Sierra Madre Oriental (La Marta y El Coahuilón) y una en la Sierra Madre Occidental (El Mohinora). La población de La Marta pertenece al municipio de Rayones, Nuevo León; dicha población se encuentra ubicada a 26 km al sureste del Ejido San Antonio de las Alazanas, municipio de Arteaga Coahuila. La población de El Coahuilón, se sitúa a una distancia de 37 km al Este del Ejido San Antonio de las Alazanas. Mientras que la población de El Mohinora se encuentra a 27 km al suroeste del Municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua (Figura 1).



Fuente: CONABIO, 1998 y 2005.

Figura 1. Distribución de las poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez en México.

Los datos climatológicos de las localidades se tomaron de las estaciones meteorológicas más cercanas de cada una ellas. El tipo de clima dominante en las poblaciones es el Cb, el cual es característico de las asociaciones vegetales dominantes de oyamel (Cuadro 4) (Martínez 1963; García, 1981).

Cuadro 4. Aspectos ecológicos de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez de Nuevo León, Coahuila y Chihuahua.

Aspecto ecológicos	Población		
	La Marta	El Coahuilón	El Mohinora
Fisiografía	Subprovincia Gran Sierra Plegada dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental	Subprovincia Gran Sierra Plegada dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental.	Subprovincia Gran Meseta y Cañones Duranguense dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental
Hidrología	Región hidrológica RH24 Bravo- Conchos. Cuenca Rio Bravo San Juan. Isoyetas: 400-600 mm anual	Región hidrológica RH24 Bravo- Conchos. Cuenca Rio Bravo San Juan. Isoyetas: 400-600 mm anual.	Región hidrológica RH10 Sinaloa. Cuenca Rio Sinaloa. Isoyetas: 800 - 1200 mm anual
Clima	Cb'(w1)x': semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual	Cb'(w1)x': semifrío, subhúmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10.2% del total anual	C(w2)x': Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal mayor al 10.2% del total anual
Edafología	Litosol con áreas pequeñas de regosol calcárico. Presenta una textura media	Litosol y rendzina con áreas pequeñas de regosol calcárico. Presentan una textura media	Litosol y feozem háplico con textura media
Vegetación	Bosque de coníferas-encinos y matorral	Bosque de pino oyamel con vegetación secundaria	Bosque de pino

Fuente: García, 1981; Cervantes-Zamora *et al.*, 1990; INIFAP y CONABIO, 1995; INEGI e INE, 1996; García y CONABIO, 1998; CNA, 1998.

3.2 Análisis de crecimiento de *Picea mexicana*

3.2.1 Sistema de muestreo

Dado que en cada localidad de *Picea mexicana* la distribución de la vegetación no se encuentra de manera uniforme, se consideró apropiado levantar la información de campo en forma dirigida, para contar con información representativa de la variación presente en cada población. Así, los datos fueron obtenidos de árboles maduros, jóvenes y de la regeneración de árboles individuales y de sitios permanentes de muestreo. Solo dos sitios permanentes fueron establecidos en 1987 y están localizados en la población de La Marta (Capó *et al.*, 1998). En total fueron seis sitios permanentes para la población de La Marta, seis para El Coahuilón y once para El Mohinora. Los sitios establecidos fueron de forma circular con una superficie de 1000 m².

3.2.2 Variables registradas en campo

Las variables dasométricas que se midieron de cada árbol muestreado fueron la altura total en metros (h), el diámetro normal (d) en centímetros, el área basal (g) en metros cuadrados y la edad en años, estas dos últimas fueron estimadas en gabinete. La altura se midió con la pistola Haga, ésta se ajustó a las distancias de 15, 20, 25 o 30 m de acuerdo a la dimensión del árbol para tener una visibilidad adecuada. El diámetro normal se midió en el tronco a 1.30 metros a nivel del terreno, utilizando una cinta diamétrica. El área basal se derivó del diámetro normal, mediante la fórmula: $g = 0.7854 \times d^2$. Para la obtención de la edad, cada árbol se taladró para obtener una viruta. Se barrenó el árbol en sentido perpendicular a la pendiente para obtener representatividad de las muestras colectadas (Klepac, 1976).

Se colectaron 89 virutas de la población de El Coahuilón, 117 de la Marta y 139 de El Mohinora. En cada muestra se tomaron datos de altura y diámetro normal de los árboles para el análisis de crecimiento (Cuadro 5).

Cuadro 5. Árboles muestreados por población de *Picea mexicana* Martínez.

Localidad	No. de árboles muestreados	d [†] (cm) (mín.-máx.)	h [‡] (m) (mín.-máx.)	Edad promedio (años) (mín.-máx.)
La Marta	117	23.7 (5.10 – 83.14)	14.41 (2.5-29)	68 (23-145)
El Coahuilón	89	23.5 (4.9-58.5)	11.15 (2.2-26)	65.8 (24-248)
El Mohinora	139	32.7 (5.5- 88.6)	17.78 (2.8-46)	102 (23-219)

Donde: †= Diámetro normal promedio en metros (rango); ‡= Altura total promedio en metros (rango); mín.= Valor mínimo; máx.= Valor máximo.

Para la obtención de la edad de cada árbol muestreado, las virutas se acondicionaron. Estas se dejaron secar una semana, luego se montaron sobre un molde de madera y se adhirieron con pegamento blanco, posteriormente se amarró la viruta con hilo de cáñamo y se dejó secar de 5 a 6 días, después se pulieron con lijas de número 100, 220 y 320 (por orden de textura, de más gruesa a más fina). Así se logró que los anillos fueran visibles en la viruta y evitar posibles confusiones con anillos falsos en la evaluación. Se desecharon las virutas que presentaban pudriciones en el centro o secciones de ramas presentes que hacían difícil el conteo de anillos. Con la ayuda de un estereoscopio, un lápiz, una lámpara y un vernier digital, se cuantificó el número total de anillos. Esto se realizó en el Laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Además de determinar la edad en la viruta de crecimiento extraída a 1.3 m de altura en el tronco, se tuvo que añadir la edad a 1.3 m de altura, para esto se estimó la edad de la base del árbol a 1.3 m.

Para conocer la edad total de los árboles, se barrenaron dos árboles de categorías diamétricas de 10 cm para este propósito; se obtuvieron dos muestras por árbol, en la primera se estimó la edad a la base y la segunda a 1.3 m, la diferencia entre estas dos mediciones y el promedio de los dos árboles nos estimó la edad. Para El Coahuilón el número de años entre la base y 1.3 m de altura fue de 12 años, para La Marta fue de 15 años, y para El Mohinora fue de 10 años.

En la población de El Coahuilón y la Marta hicieron falta datos de altura de algunos árboles, para esto fue necesario estimarla mediante procedimiento de

regresión usando el programa Sigma plot[®] 10. El procedimiento fue graficar el diámetro normal en el eje de las “x”, con los datos de la variable altura en el eje de las “y”, evaluando los siguientes modelos: lineal, cuadrático y cúbico, se seleccionó el mejor modelo tomando en cuenta el mayor valor de coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustada, y el menor valor del cuadrado medio del error (CME). Una vez seleccionado el modelo, se procedió a estimar los datos faltantes en cada una de las poblaciones de *Picea mexicana* (Apéndice 1). También se estimaron valores de grosor de corteza de algunos árboles de las tres poblaciones de *P. mexicana*; se utilizó el mismo procedimiento, estando en el eje de las “x” los valores de diámetro normal y en el eje de las “y” los valores de doble ancho de corteza (Apéndice 2).

3.2.3 Modelos de crecimiento

Para el análisis de las variables alométricas edad-altura, edad-diámetro, edad-área basal, se utilizaron trece modelos de crecimiento (Cuadro 6).

De los modelos de crecimiento utilizados se seleccionó el mejor de acuerdo a Alder (1980), Zeide (1989; 1993) y Vanclay (1994). El ajuste de los trece modelos no lineales de crecimiento, se efectuó con el paquete estadístico SAS versión 8.1 mediante el procedimiento de regresión no lineal (Non Linear Regression o NLIN).

Para la selección del mejor modelo de crecimiento se consideró que en principio los modelos presentaran convergencia con el mínimo valor de la suma de cuadrados de los residuales; el mayor valor del coeficiente de determinación (R^2) pues es considerado como el criterio más ampliamente utilizado; el mayor valor del coeficiente de determinación ajustado (R_{aj}^2) por ser el mejor criterio de selección del modelo de crecimiento, así como el menor valor del cuadrado medio del error (CME) (Apéndice 3 a 14). Como apoyo para la selección del modelo con mejor ajuste, se graficó el diagrama de dispersión de la que se sobrepuso la curva ajustada a los datos (Sit y Poulin-Costello, 1994; Vanclay, 1994).

Cuadro 6. Modelos de crecimiento utilizados para la representación del crecimiento en altura, diámetro normal y área basal en árboles de *Picea mexicana* Martínez.

Modelo	Ecuación
Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$
Levakovic I	$y = a(t^d / (b + t^d))^c$
Levakovic II	$y = a(t^2 / (b + t^2))^c$
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$
Hossfeld IV	$y = t^c / (b + t^c/a)$
Yoshida I	$y = at^d / (b + t^d) + c$

Donde: y= variable de estudio (altura, diámetro y área basal); a, b, c, d= Parámetros de regresión; t= dad; e= base logaritmos naturales.

Fuente: Zeide, 1993; Zamudio y Ayerde, 1997.

Antes de aplicar los modelos a los datos se revisaron los diagramas de dispersión para detectar puntos dudosos o aberrantes, con el apoyo del programa SAS y con el procedimiento PROC UNIVARIATE, se detectaron estos puntos y se eliminaron de la base de datos (Apéndice 15). Eliminado estos datos, se procedió a correr los modelos en SAS.

3.3 Incremento de *Picea mexicana* Martínez

Las curvas de incremento de *P. mexicana* se derivaron de las curvas ajustadas de crecimiento de cada una de las variables de interés (Altura, diámetro y área basal). El incremento medio anual (IMA) se estimó dividiendo la variable entre la edad del árbol. Mientras que el incremento corriente anual (ICA), se obtuvo de la división del incremento de la variable de un periodo de tiempo entre el número de años del mencionado periodo.

4 RESULTADOS

4.1 Crecimiento de *Picea mexicana*

4.1.1 Crecimiento general

Uniando la base de datos de las tres poblaciones de *Picea mexicana*, se analizó el crecimiento general de la especie. Se obtuvieron modelos diferentes en cada variable. El modelo Schumacher es el modelo que tiene mejor ajuste para la variable altura respecto a las variables diámetro normal y área basal (Cuadro 7).

Cuadro 7. Modelos seleccionados para Altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

Variable	Modelos seleccionado	Parámetros			R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c			
Altura	Schumacher	30.7792	49.2475		0.5206	0.5191	24.3371
Diámetro normal	Korf	384.1	7.0788	0.2017	0.4311	0.4333	45.8977
Área basal	Hossfeld IV	-0.1101	1024.1	0.7563	0.4218	0.4193	0.0006

Donde: a, b, c, d = parámetros de regresión; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

De acuerdo al modelo seleccionado para la variable altura, hay un periodo hasta los 55 años con un rápido crecimiento, posteriormente el crecimiento disminuye ligeramente sin llegar a presentar punto de inflexión a la edad de 248 años (Figura 2a). En cambio, para el diámetro normal, el crecimiento inicial es acelerado hasta la edad de 30 años, después se reduce ligeramente sin llegar a culminar (Figura 2b). Y para la variable área basal la respuesta de la curva de crecimiento es prácticamente inversa a las curvas anteriores y de forma exponencial (Figura 2c).

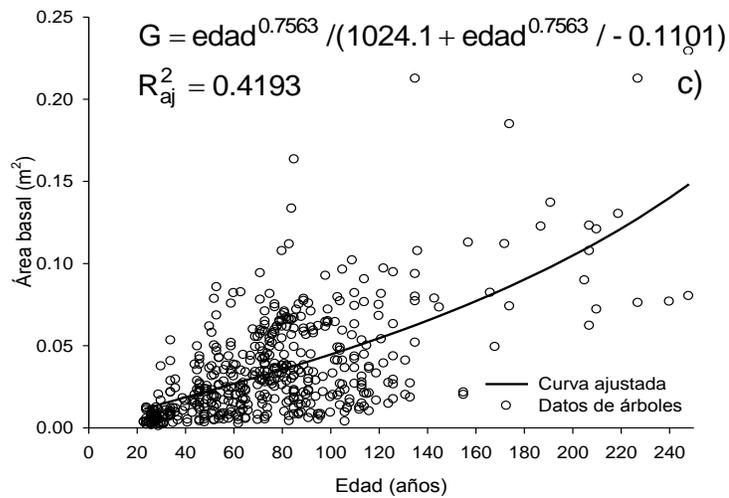
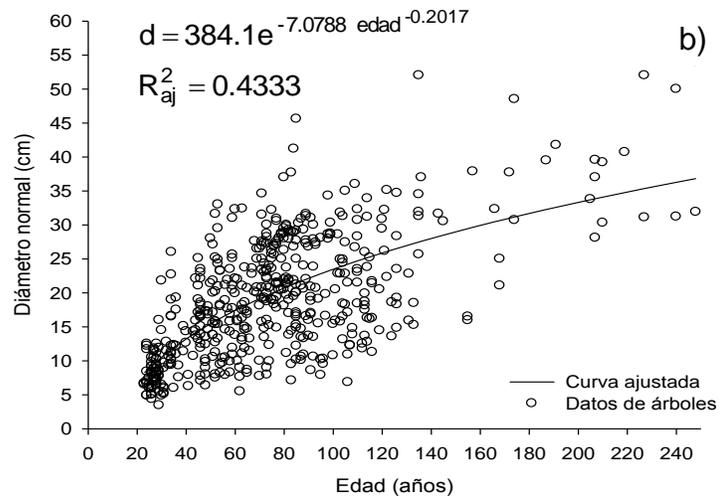
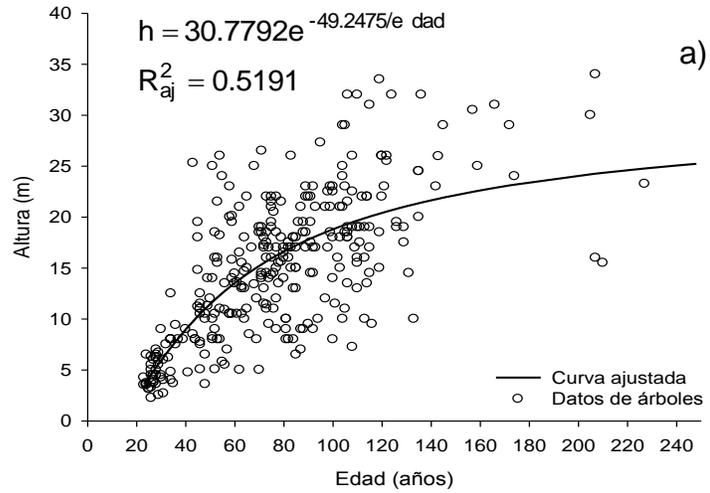


Figura 2. Curvas de crecimiento ajustadas de edad-altura (a), edad-diámetro normal (b) y edad-área basal (c) de las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

4.1.2 Crecimiento por población

Los modelos que mejor se ajustaron en el crecimiento de cada una de las variables se presentan en el Cuadro 8. En este análisis se presentaron seis modelos diferentes, tres de ellos se presentan dos veces en diferentes variables (Weibull, Von Bertalanffy y Yoshida I). Es de importancia aclarar que el modelo Chapman-Richards es similar al modelo Von Bertalanffy, al momento de analizar los resultados, ambos modelos tenían el mismo ajuste, pero el modelo Von Bertalanffy solamente tiene dos parámetros y se considera más estable (Sit y Poulin-Costello, 1994), por lo tanto, en este estudio se eligió este último.

Cuadro 8. Modelos seleccionados por variables y por poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

Variable	Población	Modelo seleccionado	Parámetros				R ²	R ² _{aj}	CME
			a	b	c	d			
Altura	El Mohinora	Logístico	3388665	0.00596	339725		0.2576	0.2510	40.0771
	El Coahuilón	Weibull	20.7715	0.00223	1.4662		0.6909	0.6837	12.6641
	La Marta	Bertalanffy	71.7370	0.00112			0.5782	0.5745	14.5892
Diámetro normal	El Mohinora	Korf	4.7414	-0.0925	-0.5852		0.3808	0.3718	47.2641
	El Coahuilón	Yoshida I	-9.045E8	4220000	163.4	-0.1005	0.6327	0.6284	43.3679
	La Marta	Sloboda	33.8279	2.8877	0.1241	0.2000	0.5877	0.5877	22.4942
Área basal	El Mohinora	Bertalanffy	-0.0206	-0.00307			0.4236	0.4196	0.0005
	El Coahuilón	Yoshida I	583607	42498733	-0.0599	0.4840	0.5642	0.5593	0.0008
	La Marta	Weibull	0.0784	0.000031	2.3133		0.5311	0.5257	0.0002

Donde: a, b, c, d = parámetros de regresión; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

El crecimiento es exponencial en altura, diámetro normal y área basal de la población de El Mohinora, después de la edad de 100 años el crecimiento aumenta sin llegar a presentar curva de inflexión. Mientras que la población de El Coahuilón, la forma de la curva de crecimiento en altura difiere de las otras dos curvas; el crecimiento inicial de las tres variables es rápido, pero después de la edad de 100 años el

crecimiento en altura se empieza a estabilizar, mientras que el diámetro normal y área basal no llegan a estabilizarse. A diferencia de la población de La Marta, el crecimiento inicial en altura y diámetro normal es rápido, pero aproximadamente después de la edad de 90 años el crecimiento disminuye ligeramente y no llega a presentar curva de inflexión; en cambio, en la variable área basal, la curva de crecimiento tiene ligeramente la forma de “S” sigmoideal (Figura 3).

Las modelos de crecimientos seleccionados para las tres variables en las tres poblaciones son altamente significativos (<0.0001). Sin embargo, la respuesta de cada una de las curvas es diferente. Para la variable altura, a la edad de 75 años las curvas de crecimiento están próximas unas de otras, mientras que para la variable diámetro normal y área basal, las curvas de crecimiento de las poblaciones de El Mohinora y El Coahuilón se interceptan después de la edad de 200 años (Figura 3).

La edad máxima encontrada en la población de El Mohinora es de 219 años, en El Coahuilón 248 años y en La Marta 145 años. Tomando de referencia la edad de 145 años, se nota claramente que a esa edad la curva de crecimiento en altura de La Marta es la que sobresale respecto a las otras dos curvas (Figura 3a). Mientras que en las variables diámetro normal y área basal, la población de El Coahuilón es la que sobresale, dejando intermedia la población de La Marta (Figura 3b y 3c).

En la población de El Mohinora, de acuerdo a la edad máxima encontrada tiene 34 m de altura, seguido por la población de La Marta con 27 m y El Coahuilón con 20 m (Figura 3a). Mientras que en diámetro normal y área basal son similares en las poblaciones de El Mohinora y La Marta con 37 cm y 0.12 m^2 respectivamente. La población de El Coahuilón es la que tiene dimensiones inferiores, en diámetro normal tiene 32 cm y área basal 0.07 m^2 (Figura 3b y 3c).

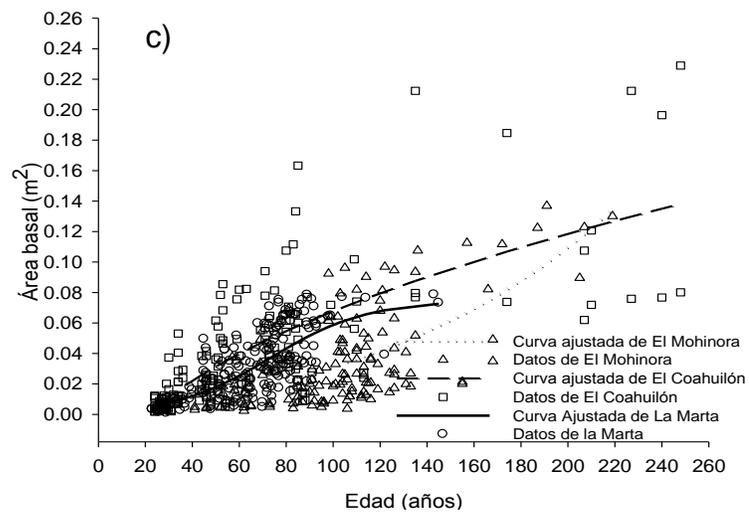
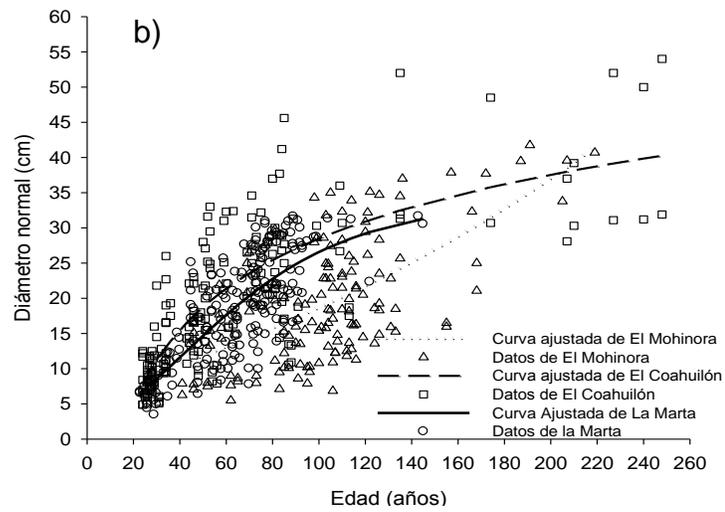
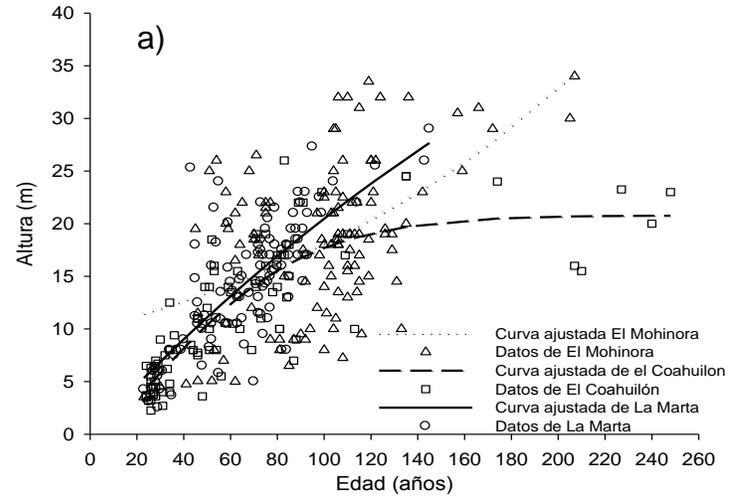


Figura 3. Curvas de crecimiento de edad-altura (a), edad-diámetro normal (b) y edad-área basal (c) por población de *Picea mexicana* Martínez.

4.2 Incremento de *Picea mexicana*

4.2.1 Incremento general

Las curvas de incremento en altura y diámetro normal de *Picea mexicana* tienen similitud en forma, a diferencia de la curva en área basal que es lo contrario a las otras dos variables. El incremento corriente anual (ICA) en altura y diámetro normal, a la edad de 25 años ambos están en su punto máximo, posteriormente las curvas descienden. En la curva del incremento medio anual (IMA) para la variable altura adquiere la forma habitual de campana, en los primeros años de edad el incremento es muy acelerado y llega a su punto máximo a la edad de 50 años aproximadamente, punto donde se interceptan las dos curvas de incremento; en cambio, la curva del IMA en diámetro normal, el punto máximo es a la edad de 25 años, después desciende (Figura 4a y 4b). Por otro lado, las curvas de incremento en área basal son de tipo exponencial y aún no llegan a su punto máximo (Figura 4c).

4.2.2 Incremento por población.

La tendencia de las curvas del ICA de las tres variables de la población de El Mohinora es de forma ascendente y no llegan a presentar curvas de inflexión; para el IMA en altura y diámetro normal presentan forma descendente a diferencia del incremento en área basal que tiene forma ascendente; las curvas del IMA no presentan la forma habitual de campana, pero aun así, en las variables altura y diámetro normal las curvas de incremento se interceptan a la edad de 170 y 150 años de edad respectivamente (Figura 5a). En la Población de El Coahuilón, las tres curvas del IMA tienen forma de campana y todas se interceptan con las curvas del ICA a una cierta edad (Figura 5b). En la población de La Marta, las curvas del ICA e IMA en altura presentan forma descendente y no presentan punto de cruce; mientras que para las variables diámetro normal y área basal presentan forma de campana y se interceptan con las curvas del ICA a la edad de 60 y 105 años aproximadamente (Figura 5c).

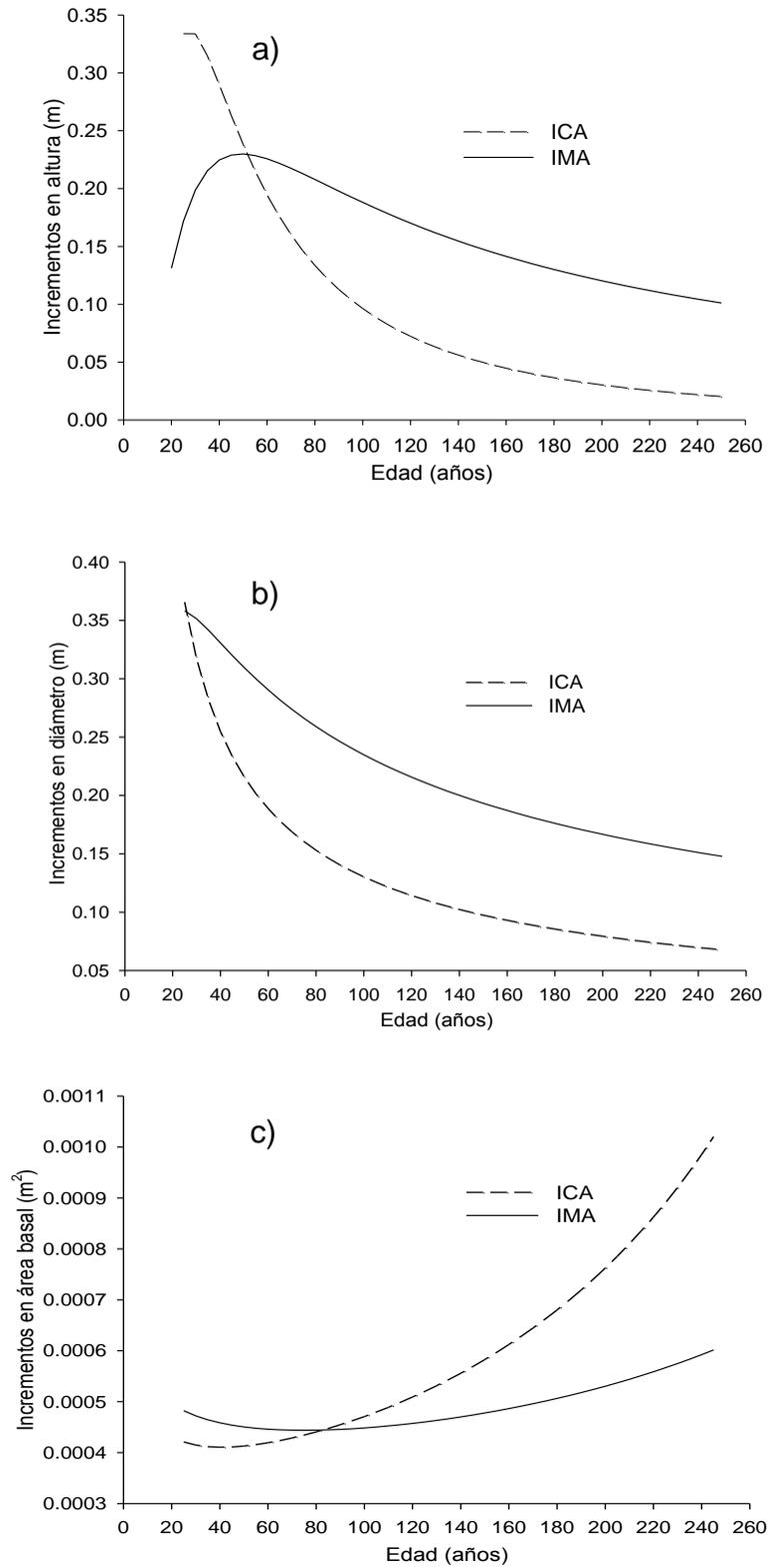


Figura 4. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) para las variables altura (a), diámetro normal (b) y área basal (c) de las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

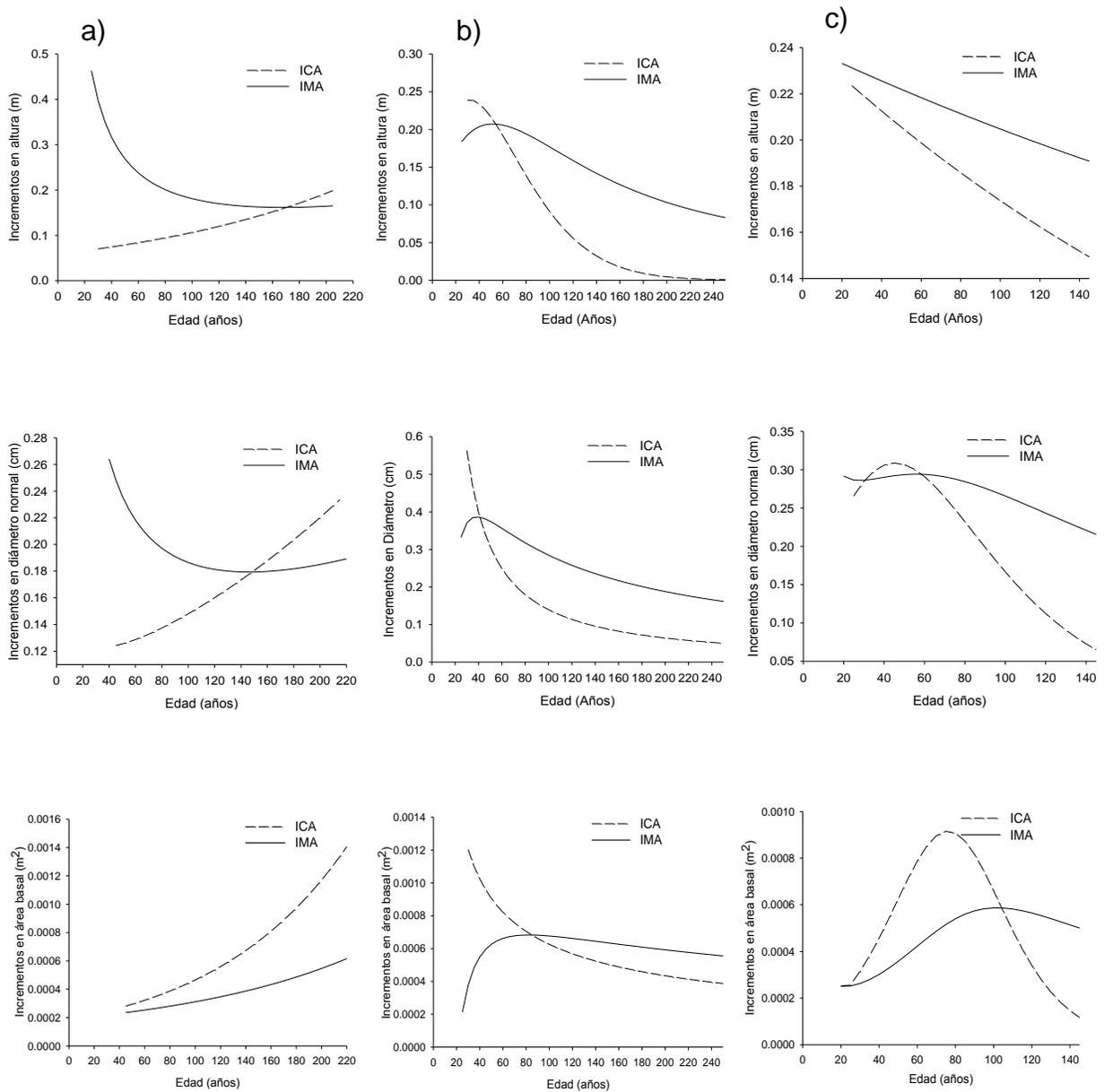


Figura 5. Incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura, diámetro normal y área basal para las poblaciones: a) El Mohinora, Guadalupe y Calvo, Chihuahua; b) El Coahuilón, Arteaga, Coahuila y c) La Marta, Rayones, Nuevo León.

5 DISCUSIÓN

5.1 Crecimiento e incremento de *Picea mexicana*

En el proceso de análisis de crecimiento general de *Picea mexicana*, los modelos que se presentaron son diferentes respecto al estudio realizado por Flores y Geada (2006), y de los otros estudios de especies del género *Picea* en México. En el estudio de *P. mexicana* mencionado, el mejor modelo para el análisis de crecimiento en altura y diámetro normal fue el modelo Von Bertalanffy. Mientras que para *Picea martinezii* T.F. Patterson el mejor modelo para estimar altura y diámetro normal fue el modelo Yoshida I, y para el área basal Von Bertalanffy (Gómez, 2007). En cambio, en el análisis de crecimiento en altura para *P. chihuahuana* Martínez, el mejor modelo seleccionado para esta especie fue Gompertz (Salas y Vega, 1999).

Los coeficientes de determinación ajustada del crecimiento general de *Picea mexicana* (presente estudio) y *Picea martinezii* (Gómez, 2007) son muy bajos, en ambas especies los coeficientes de determinación están entre 0.42 y 0.58 (Cuadro 7 y 9). En el estudio realizado por Flores y Geada (2006) en *P. mexicana* los coeficientes son altos, 0.89 para altura y 0.83 para diámetro normal, este valor del coeficiente es debido a que había menor variación en la dispersión de los valores. En *P. chihuahuana* el valor del coeficiente es muy alto (0.99), en este estudio solamente se analizaron dos árboles y por tal razón existe poca variabilidad entre las muestras (Salas y Vega, 1999).

Cuadro 9. Modelos seleccionados para Altura, diámetro normal y área basal de las tres poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson.

Variable	Modelo seleccionado	Parámetros				R ²	R ² _{aj}
		a	b	c	d		
Altura	Yoshida I	-1870949	3064.8	581.9	-0.0184	0.5867	0.5805
Diámetro normal	Yoshida I	53901.4	-4.1000	17336.0	-0.00082	0.5254	0.5218
Área basal	Bertalanffy	-43023.6	-0.00007			0.4298	0.4255

Donde: a, b, c, d = parámetros de regresión; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustada.

Fuente: Gómez, 2007.

En estudios del género *Pinus*, los coeficientes de determinación son generalmente altos. En un Estudio epidométrico realizado de *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán se encontró que el coeficiente de determinación de la variable altura fue de 0.98, en diámetro 0.96 y en área basal 0.96, utilizando el modelo Chapman-Richards, Gompertz y Logístico (Calvillo, 2003). En una regeneración de *Pinus rudis* Endl., se hizo un estudio de crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen en la Sierra Las Alazanas, Coahuila, los coeficientes de determinación de las cuatro variables evaluadas son de 0.99, utilizando el modelo Weibull en altura, Chapman-Richards en diámetro y área basal, y Schumacher en volumen (Bautista, 2001). En el Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León, de igual forma se hizo un estudio de crecimiento de la regeneración de *Pinus teocote* Schl. et Cham. y se encontró que el valor de coeficiente de determinación en el análisis de crecimiento en altura fue de 0.92, en diámetro 0.93 y en área basal 0.68, utilizando los modelos Chapman-Richards, Sloboda y Logístico (Sosa, 2001).

Al pobre ajuste de los modelos de crecimiento de *Picea mexicana* posiblemente se deba al hábito de crecimiento de la especie (especie tolerante). Manifestándose de diferentes formas respecto a la variación del dosel. Los diferentes tipos y condiciones del suelo también pueden influir en el ritmo de crecimiento de los árboles dentro y entre las poblaciones (Hocker, 1984; Pritchett, 1986). Otro factor que pudiera influir en el ajuste de los modelos de crecimiento, es el problema de endogamia que presentan las poblaciones, provocándole desarrollo anormal y no vigorosa a las plantas (Flores-López *et al.*, 2005).

Las curvas de crecimiento de *Picea mexicana* de las tres variables no presentan la forma habitual de "S" sigmoideal. En este caso, las curvas solamente presentan un punto de inflexión y no tienen punto de culminación. Las curvas de crecimiento en altura y diámetro son cóncavas en relación al eje de las "X", mientras que la curva en área basal es convexa (Figura 2).

Por otro lado, la curva de crecimiento en altura de *Picea chihuahuana* si tiene tendencia sigmoideal (Figura 6a). Mientras que la curva de crecimiento en altura de

Picea martinezii es similar a la forma de la curva de crecimiento de *Picea mexicana* (Forma logarítmica). Sin embargo, a la edad de 100 años la curva de crecimiento de *Picea mexicana* está debajo de las otras dos curvas y la curva de *P. chihuahuana* es la que se sobrepone en crecimiento (Figura 6a). En las curvas de crecimiento en diámetro de *P. mexicana* y *P. martinezii* ambas se comportan como logarítmicas (Figura 6b), mientras que en área basal el crecimiento de *P. mexicana* es de forma exponencial y en *P. martinezii* tiende a ser lineal (Figura 6c); en estas variables, *P. mexicana* nuevamente queda debajo de las curvas de *P. martinezii* (Figura 6b y 6c).

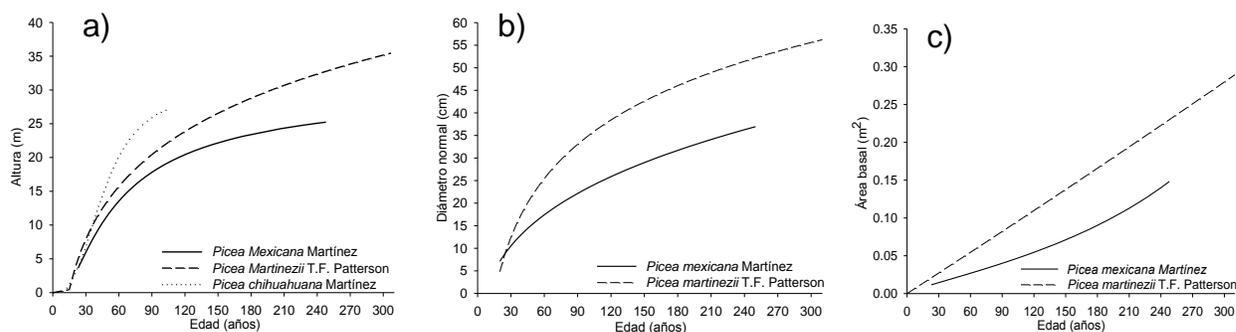


Figura 6. Crecimiento en altura (a), diámetro normal (b) y área basal (c) de *Picea mexicana* Martínez, *P. martinezii* T.F. Patterson y *P. chihuahuana* Martínez.

En el análisis de crecimiento por población de *Picea mexicana* los modelos que presentaron buen ajuste fueron los siguientes: el modelo Logístico, Weibull, Korf, Yoshida I, Von Bertalanffy y Sloboda (Cuadro 8). Los primeros cinco modelos concuerdan en el análisis de crecimiento por población y en crecimiento general de *Picea martinezii* realizado por Gómez (2007) (Cuadro 10). Mientras que el modelo Sloboda es la primera vez que se presenta en el análisis de crecimiento de especies del género *Picea*.

Las curvas de crecimiento por población de *Picea mexicana* tampoco llegan a adquirir la forma de “S”, a excepción de la curva de crecimiento en área basal de la población de La Marta que adquiere ligeramente forma sigmoideal (Figura 3c). Un factor notable en este estudio, es la estabilización a los 100 años de la curva de crecimiento en altura de la población de El Coahuilón (Figura 3a).

Cuadro 10. Modelos seleccionados por variables y por poblaciones *Picea martinezii* T.F. Patterson.

Variable	Población	Modelo seleccionado	Parámetros				R ²	R ² _{aj}
			a	b	c	d		
Altura	Agua fría- Agua Lardín	Yoshida I	-1.36E10	-9.322E7	-171.8	0.0613	0.6330	0.6229
	El Butano	Yoshida I	-1.786E8	-1.1E14	19.1158	2.8436	0.6479	0.6209
	La Encantada	Weibull	888847	2.906E-6	0.4625		0.6155	0.6001
Diámetro normal	Agua fría- Agua Lardín	Yoshida I	52977.9	-4.10	17031.1	-0.0009	0.6078	0.6025
	El Butano	Korf	33.4058	-3E-8	-3.0301		0.4716	0.4310
	La Encantada	Logístico	10958343	0.00398	542345		0.4764	0.4554
Área basal	Agua fría- Agua Lardín	Weibull	1.745E10	3.1E-10	1.1170		0.5255	0.5191
	El Butano	Yoshida I	-17.0670	-1.3174	663.1	0.0484	0.5165	0.4793
	La Encantada	Logístico	1.5408E9	0.00756	431283		0.4825	0.4617

Donde: a, b, c, d = parámetros de regresión; E = número elevado al exponente; R² = Coeficiente de determinación; R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado; CME = Cuadrado medio del error.

Fuente: Gómez, 2007.

Algunas curvas de crecimiento tuvieron forma logarítmica, es posible que estas sean resultado de la variación en la apertura del dosel y como respuesta algunos árboles crecen de manera rápida en la etapa juvenil. Sin embargo, esta forma no es común en especies tolerantes, generalmente estas especies tienen lento crecimiento en los primeros años por estar bajo dosel de árboles y cuando tienen la oportunidad de crecer lo hacen rápidamente, haciendo que en los primeros años la curva de crecimiento adquiera forma exponencial (Klepac, 1976; Spurr y Barnes, 1980).

Las gráficas de dispersión de la población de El Mohinora, los datos son más esparcidos en relación a las otras dos poblaciones (Apéndice 15). La variabilidad de los datos afecta en el ajuste de los modelos de crecimiento, por consiguiente, los modelos de crecimiento para la población mencionada tienen un pobre ajuste en relación a la población de El Coahuilón y La Marta (Cuadro 8). A esta variabilidad, se le atribuye a los diferentes tipos y condiciones del suelo presentes en el área (someros, textura, aluviales, con mucha pendiente.) (Hocker, 1984; Pritchett, 1986). También, el problema

de endogamia que presentan las poblaciones puede alterar el ritmo de crecimiento de los árboles y trae como consecuencia mayor variabilidad (Flores-López *et al.*, 2005).

La respuesta general de las curvas de incremento en especies forestales adquieren forma de campana, es decir, los primeros años tiene un crecimiento rápido hasta llegar al punto máximo o máximo incremento y posteriormente la curva empieza a descender (Assmann, 1970; Klepac, 1976). En este estudio, las curvas de incremento general de *Picea mexicana* no adquieren la forma habitual de campana, a excepción de la curva del IMA en altura que si adquiere forma normal de incremento. Mientras que las curvas de incremento por población, algunas tampoco tuvieron forma común de la curva de incremento (Figura 5). La respuesta diferente de las curvas de incremento es consecuencia al pobre ajuste de los modelos de crecimiento, como consecuencia de que las curvas de incremento se derivaron de las curvas ajustadas de crecimiento.

6 CONCLUSIONES

1. El modelo de crecimiento Weibull es el que tiene mejor ajuste para la variable altura en la población de El Coahuilón y en área basal de la población de La Marta.
2. Los ajustes de los modelos de crecimiento en la población de El Mohinora son muy bajos en relación a la población de El Coahuilón y La Marta.
3. En la ampliación de la base de datos de las tres poblaciones de *Picea mexicana* no implicó mejor ajuste de los modelos de crecimiento.
4. La forma logarítmica de algunas curvas de crecimiento es producto de la variación en la apertura del dosel.
5. Las curvas de crecimiento en altura, diámetro normal y área basal de la población de El Mohinora son de forma exponencial, esto es resultado del crecimiento lento de la mayoría de los árboles en la etapa juvenil.
6. La mayor dimensión en altura se presenta en la población de El Mohinora, mientras que en diámetro normal y área basal las poblaciones de El Mohinora y El Coahuilón son similares después de la edad de 210 años.

7 RECOMENDACIONES

1. Realizar estratificaciones en las poblaciones en base a las características edafológicas, grados de tolerancia y disturbios, para identificar si son factores que influyen en el crecimiento de los árboles.
2. Elaborar curvas de crecimiento en volumen para completar el estudio de crecimiento y como apoyo a posibles estudios ecológicos.

8 LITERATURA CITADA

- Adlard, P. G. 1983. Clases de modelos de crecimiento de masas forestales y tipos de variables necesarias para su calibración. *In*: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. Publicación especial No 44. pp. 47-53.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2 Predicción del rendimiento. FAO. Roma. 80 p.
- Aguilar R., M. 1997. Estudio del crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roezl en la región central de Michoacán. *Revista Ciencia Forestal en México* 22(81): 41-70.
- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Translator: Gardiner, S. H. Ed. Pergamon press. Oxford, New York. 506 p.
- Bautista M., J. L. 2001. Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 70p.
- Benavides S., J. D. y H. Manzanilla B. 1993. Estimación de la calidad del sitio mediante índice de sitio de *Pinus michoacana cornuta* Martínez y *Pinus oocarpa* Schiede, para A D F Tapalpa, estado de Jalisco. *Revista Ciencia Forestal en México* 18 (74): 121-138.
- Calvillo G., J. C. 2003. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Mart. en la región de Cd. Hidalgo Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 80 p.
- Capó A., M., S. Valencia M., C. Flores L., y S. Braham S. 1998. Informe final de actividades del proyecto: Autoecología del género *Picea* en Nuevo León. Presentado a: Consejo Consultivo Estatal para la Preservación y Fomento de la Flora y Fauna Silvestre de Nuevo León. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 160 p.
- Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo-Olgín, R. Lucero-Márquez, J. M. Miranda-Viquez, E. Espinoza-Rodríguez y A. Pineda-Velázquez 1990. Provincias Fisiográficas de México. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?ld=19

- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Cuencas Hidrológicas. Escala 1:250000. México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=101
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Curvas de nivel para la República Mexicana. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEG). México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=110
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2005. División Política Estatal. Escala 1:1000000. Extraído de Conjunto de Datos vectoriales topográficos y toponímicos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=398
- Conifer Specialist Group. 2000. *Picea engelmannii* ssp. mexicana. In: IUCN 2007. 2007 IUCN Red List of Threatened Species. <<http://www.iucnredlist.org/>>. Downloaded on 30 August 2008.
- Corral R., S. y J. J. Návar Ch. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11(1): 29-47.
- Cruz C., F. 2007. Modelos de volumen y crecimiento en altura dominante para *Pinus cooperi* Blanco en el estado de Durango, México. Tesis de doctorado. Colegio de posgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Edo de México. 69 p.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México, D.F. 942 p.
- De la Fuente E., A., A. Velázquez M., J. M. Torres R., H. Ramírez M., C. Rodríguez F. y A. Trinidad S. 1998. Predicción del crecimiento y rendimiento de *Pinus rudis* Endl en Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. *Ciencia Forestal en México* 23 (84): 3-8.
- Ek, A. R. 1991. Medición del bosque. In: Introducción a las ciencias forestales. Editor: Young, R. A. Limusa. México. pp. 277-304.
- Flores-López, C., J. López-Upton y J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39 (1): 117-126.
- Flores L., C. y G. Geada L. 2006. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en tres poblaciones naturales de México. In: Memoria de Resúmenes: XXI Congreso Nacional y I Internacional de Fitogenética. Santacruz V., A., L. Córdova T., J. C. Molina M (comps.). Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. y Universidad

Autónoma de Chiapas. 3 al 8 de Septiembre de 2006. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. P. 304.

Flores R., L. J. 1983. Situación actual de los estudios de crecimiento en masas forestales en México. *In*: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH. Publicación especial No 44. pp. 5-8.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ra Ed. México, D.F. 217 p.

García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Climas (clasificación de Köppen, modificado por García). Escala 1:1000000. México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=36

Gómez L., J.A. 2007. Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T. F. Patterson en tres poblaciones de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 44 p.

Groothusen, C. 1983. Investigación del crecimiento del bosque de pino en Honduras. *In*: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masa forestales. Publicación especial No. 44. SARH, Subsecretaría Forestal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. pp. 23-31.

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. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 81 p.

Hocker, H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 446 p.

Hush, B., C. I. Miller, y T. W. Beers. 1982. Forest mensuration. 3ra. (ed.) John Wiley & Sons. New York, USA. 402 p.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) e Instituto Nacional de Ecología (INE). 1996. Uso de suelo y vegetación. CONABIO. Escala 1:1000000. México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=84

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1995. Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=164

- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 365 p.
- Kozlowski, T. T. 1991. Fisiología del crecimiento del árbol. *In*: Introducción a las ciencias forestales. Editor: Young, R. A. Limusa. México, D.F. pp. 95-118.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss, K. V. Krutovskii, D. B. Neale, and T. Eguluz P. 2004. Relationships among the Spruces (*Picea*, Pinaceae) of Southwestern North America. *Systematic Botany* 29(2): 275-295.
- Mares A., O. 2003. Índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 83 p.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de *Picea* en México. *Anales del Instituto de Biología*. Tomo XXXII: 137-142.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ra ed. México. UNAM. 400 p.
- 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.
- Montero M., M. y A. M. Fierros G. 1995. Predicción de crecimiento de *Pinus caribae* var. *Hondurensis* Barr y Golf. en la Sabana, Oaxaca, México. *Revista Chapingo*. Serie: Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 1 (1): 55-63.
- Odum, E. P. 1972. *Ecología*. Traductor: Ottenwaelder, C. G. 3ra ed. Interamericana. México, D.F. 636 p.
- Pereyra G., J. A. 2003. Estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 130 p.
- Pritchett, W. L. 1986. *Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento*. Limusa. México, D.F. 633 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CATIE. San José, Costa Rica. 561 p.
- Romero- Gutiérrez, Y. E. y H. Ramírez- Maldonado. 1997. Análisis de crecimiento de *Pinus patula* Sch. Et Cham. en plantaciones en Huayacocotla, Veracruz. *Revista Chapingo*, Serie Ciencias Forestales y del medio ambiente. División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 3(2): 145-148.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.

- Salas G., R. y K. Vega F. 1999. Ecología y estructura poblacional de *Picea chihuahuana*. In: Ciclo de conferencias "La Investigación y Educación Forestal en México" (Memoria). SEMARNAP. Coyoacán, México. pp. 104-109.
- SEMARNAT. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-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. Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) 23 de abril de 2003. México. 153 p. [En línea]. 20 de febrero de 2007. Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuarios_forestales.aspx
- Sit, V. and M. 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. 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 profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1980. Ecología forestal. AGT México. 690 p.
- Thomson L. 2002. Ordenación de bosques naturales para la conservación de recursos genéticos forestales: En bosques naturales ordenados y aéreas protegidas (*In situ*). Traductor: F. Barrientos. FAO, CSFD, IPGRI. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos 2(3): 15-43.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa. México, D.F. 472 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 P, D.W. Stahle, M. D. Therrel, M. K. Cleaveland e I. Sánchez C. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto Técnico No 2. INIFAP, CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 37 p.
- Villa S., A. B. 1963. Cálculo de incremento en los bosques de coníferas. Boletín técnico No 11. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaria de Recursos Forestales y de Caza. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 36 p.
- Zamudio S., F. J. y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales 1:79-87.

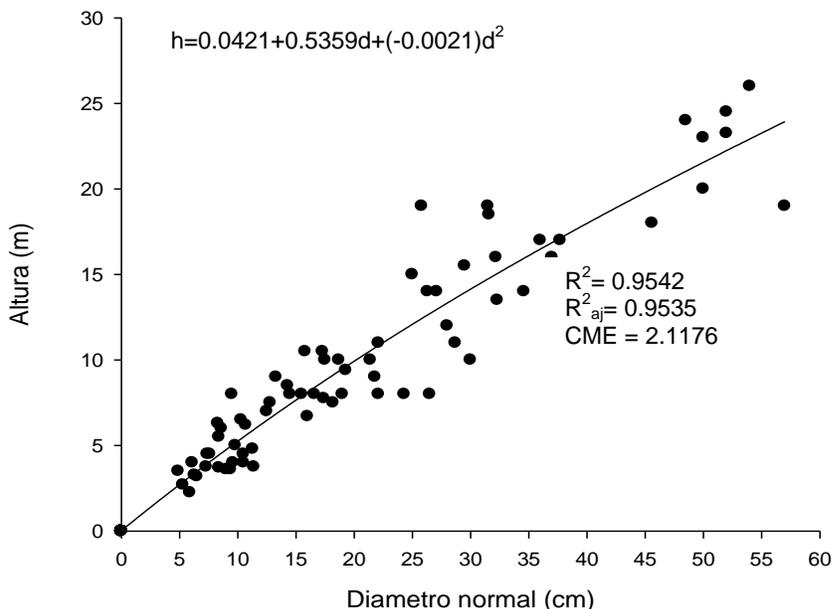
Zeide, B. 1989. Accuracy of equations describing diameter growth. *Can. J. For. Res.* 19:1283-1286.

Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.* 39(3):594-616.

APÉNDICE

APÉNDICE

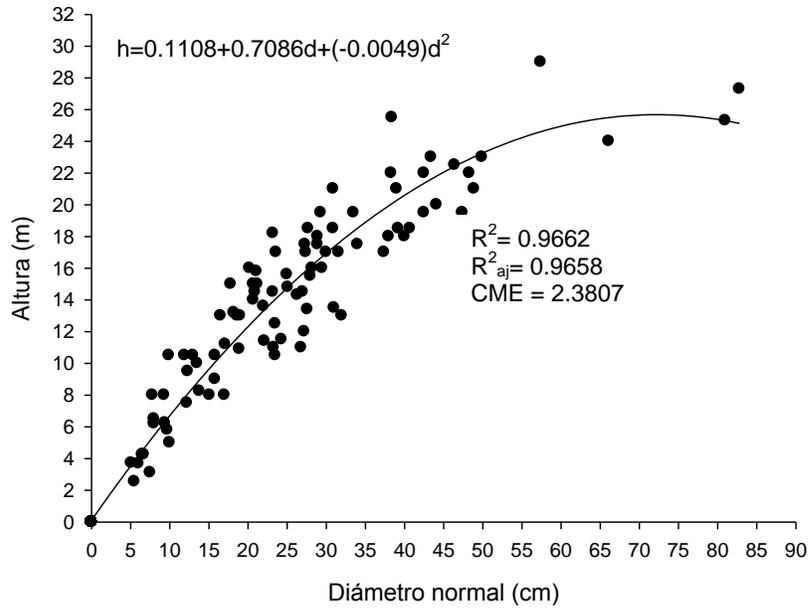
Apéndice 1. Estimación de datos faltantes de altura para árboles de *Picea Mexicana* Martínez de la población de El Coahuilón y La Marta.



Apéndice 1.1. Relación diámetro normal (d) y altura (h) de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Coahuilón.

Apéndice 1.2. Árboles, diámetro normal y altura estimada de los árboles de colecta de 2006, de la población de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

No. árbol	Diámetro normal (cm)	Altura estimada (m)	No. árbol	Diámetro normal (cm)	Altura estimada (m)
1	31	14	13	18	14
4	13.5	7	14	50.5	22
5	54	23	15	32.4	15.5
6	10.5	5.5	17	41.2	18
8	37	17	18	58.5	24.5
9	26.8	13	26	33	16
10	23	11	28	28	13.5
11	12.5	6.5	29	51	22
12	20	10	30	26	12.5



Apéndice 1.3. Relación diámetro normal (d) y altura (h) de *Picea mexicana* Martínez de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.

Apéndice 1.4. Árboles, diámetro normal y altura estimada de los árboles de colecta de 2006, de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.

No. árbol	Diámetro normal C/C (cm.)	Altura estimada (m)	No. árbol	Diámetro normal C/C (cm.)	Altura estimada (m)
1	7.4	5	16	29.2	17
2	8.4	5.5	17	30.6	17
3	9.7	6	20	28.0	16
4	17.2	11.27	21	23.4	14.5
6	21.0	13	22	28.7	16.5
7	29.3	17	24	17.2	11
8	8.9	6	25	19.9	14.456
10	25.6	20.1	26	13.3	8.5
11	16.6	10.5	27	83.1	25.96
12	11.0	8	28	20.8	14.24
13	14.3	9	29	53.8	24
14	40.3	20.5	30	23.7	14.67
15	43.6	21.5	31	23.0	17.23

Donde: C/C= Con corteza.

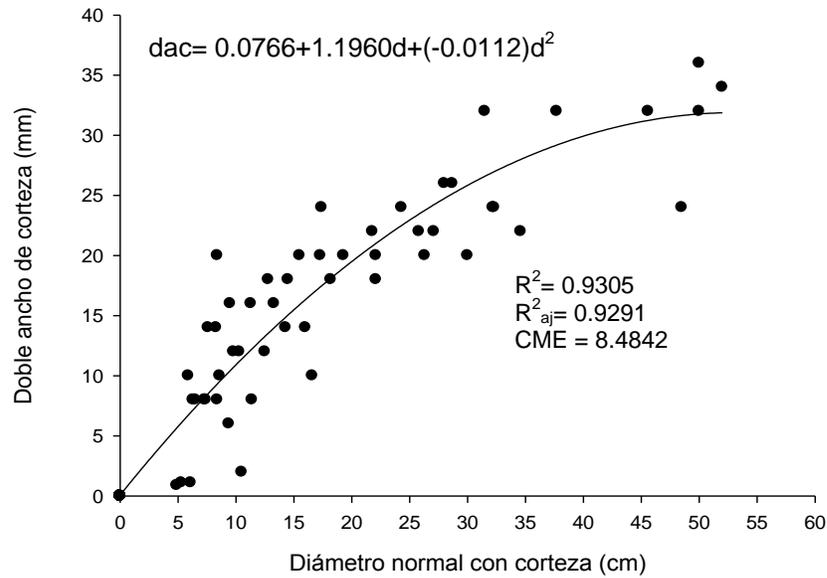
Apéndice 2. Estimación de grosor de corteza para algunos árboles de *Picea mexicana* Martínez.

Apéndice 2.1. Datos originales de diámetro normal con corteza, doble ancho de corteza, diámetro sin corteza y factor de conversión de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)	Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)
1	32.30	2.40	29.90	1.08	28	7.40	0.80	6.60	1.12
2	5.30	0.11	5.19	1.02	29	8.40	0.80	7.60	1.11
3	6.10	0.11	5.99	1.02	30	28.00	2.60	25.40	1.10
4	4.90	0.09	4.81	1.02	31	27.10	2.20	24.90	1.09
5	10.50	0.20	10.30	1.02	32	13.30	1.60	11.70	1.14
6	11.40	0.80	10.60	1.08	33	50.00	3.60	46.40	1.08
7	9.40	0.60	8.80	1.07	34	9.50	1.60	7.90	1.20
8	6.50	0.80	5.70	1.14	35	28.70	2.60	26.10	1.10
9	6.30	0.80	5.50	1.15	36	34.60	2.20	32.40	1.07
10	39.20	3.60	35.60	1.10	37	25.80	2.20	23.60	1.09
11	12.80	1.80	11.00	1.16	38	22.10	1.80	20.30	1.09
12	8.60	1.00	7.60	1.13	39	8.40	2.00	6.40	1.31
13	30.00	2.00	28.00	1.07	40	17.30	2.00	15.30	1.13
14	5.90	1.00	4.90	1.20	41	15.50	2.00	13.50	1.15
15	7.30	0.80	6.50	1.12	42	50.00	3.20	46.80	1.07
16	22.10	2.00	20.10	1.10	43	32.20	2.40	29.80	1.08
17	14.30	1.40	12.90	1.11	44	37.70	3.20	34.50	1.09
18	18.20	1.80	16.40	1.11	45	45.60	3.20	42.40	1.08
19	17.40	2.40	15.00	1.16	46	48.50	2.40	46.10	1.05
20	19.30	2.00	17.30	1.12	47	24.30	2.40	21.90	1.11
21	8.30	1.40	6.90	1.20	48	14.50	1.80	12.70	1.14
22	10.30	1.20	9.10	1.13	49	52.00	3.40	48.60	1.07
23	16.60	1.00	15.60	1.06	50	31.50	3.20	28.30	1.11
24	12.50	1.20	11.30	1.11	51	26.30	2.00	24.30	1.08
25	9.80	1.20	8.60	1.14	52	21.80	2.20	19.60	1.11
26	16.00	1.40	14.60	1.10	53	11.30	1.60	9.70	1.16
27	7.60	1.40	6.20	1.23					

¹FC= DNCC/DNSC

Donde: DNCC= Diámetro normal con corteza; DNSC= Diámetro normal sin corteza.



Apéndice 2.2. Relación diámetro normal (d) y doble ancho de corteza (dac) para estimar el grosor de corteza de árboles de *Picea mexicana* de la población de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

Apéndice 2.3. Categorías diamétricas y grosor de corteza estimada de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

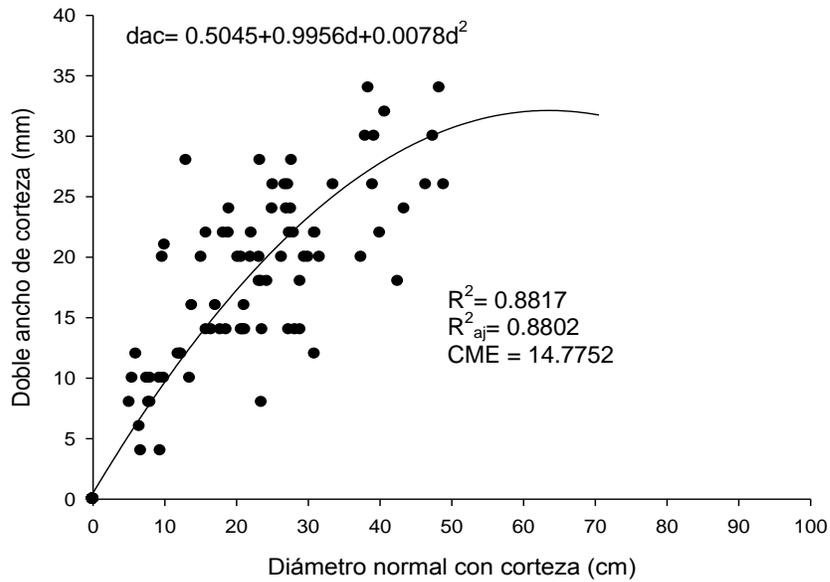
Categoría diamétrica	Doble ancho de corteza ajustada (mm)
5	5.78
10	10.92
15	15.50
20	19.52
25	22.98
30	25.88
35	28.22
40	30.00
45	31.22
50	31.88
52	31.98

Apéndice 2.4. Datos originales de diámetro normal con corteza, doble ancho de corteza, diámetro sin corteza y factor de conversión de corteza de *Picea mexicana* Martínez de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.

Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)	Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)
1	5.50	1.0	4.5	1.22	42	27.70	2.8	24.9	1.11
2	5.10	0.8	4.3	1.19	43	27.40	2.2	25.2	1.09
3	7.50	1.0	6.5	1.15	44	31.60	2.0	29.6	1.07
4	17.10	1.6	15.5	1.10	45	21.20	1.4	19.8	1.07
5	18.90	2.2	16.7	1.13	46	28.20	1.4	26.8	1.05
6	27.20	2.6	24.6	1.11	47	23.20	1.8	21.4	1.08
7	6.00	1.2	4.8	1.25	48	33.50	2.6	30.9	1.08
8	23.20	2.0	21.2	1.09	49	46.40	2.6	43.8	1.06
9	15.10	2.0	13.1	1.15	50	38.00	3.0	35.0	1.09
10	8.00	1.0	7.0	1.14	51	29.50	2.0	27.5	1.07
11	12.20	1.2	11.0	1.11	52	20.70	1.4	19.3	1.07
12	37.40	2.0	35.4	1.06	53	28.90	1.4	27.5	1.05
13	39.20	3.0	36.2	1.08	54	48.90	2.6	46.3	1.06
14	26.80	2.6	24.2	1.11	55	28.90	1.8	27.1	1.07
15	27.60	2.4	25.2	1.10	56	40.00	2.2	37.8	1.06
16	23.30	2.8	20.5	1.14	57	23.60	1.4	22.2	1.06
17	25.10	2.6	22.5	1.12	58	30.00	2.0	28.0	1.07
18	26.30	2.0	24.3	1.08	59	47.40	3.0	44.4	1.07
19	22.10	2.2	19.9	1.11	60	20.70	2.0	18.7	1.11
20	25.00	2.4	22.6	1.11	61	43.40	2.4	41.0	1.06
21	82.80	3.4	79.4	1.04	62	30.90	1.2	29.7	1.04
22	15.80	2.2	13.6	1.16	63	18.60	1.4	17.2	1.08
23	18.20	2.2	16.0	1.14	64	39.00	2.6	36.4	1.07
24	9.70	2.0	7.7	1.26	65	27.30	1.4	25.9	1.05
25	19.00	2.4	16.6	1.14	66	16.50	1.4	15.1	1.09
26	49.90	3.6	46.3	1.08	67	29.30	3.8	25.5	1.15
27	22.00	2.0	20.0	1.10	68	17.80	1.4	16.4	1.09
28	21.10	1.6	19.5	1.08	69	12.30	1.2	11.1	1.11
29	38.40	3.4	35.0	1.10	70	13.50	1.0	12.5	1.08
30	28.00	2.2	25.8	1.09	71	7.80	0.8	7.0	1.11
31	15.80	1.4	14.4	1.10	72	8.00	0.8	7.2	1.11
32	10.00	2.1	7.9	1.27	73	11.90	1.2	10.7	1.11
33	13.00	2.8	10.2	1.27	74	9.90	1.0	8.9	1.11
34	23.50	1.8	21.7	1.08	75	27.00	2.4	24.6	1.10
35	31.00	2.2	28.8	1.08	76	20.20	2.0	18.2	1.11
36	24.30	1.8	22.5	1.08	77	40.70	3.2	37.5	1.09
37	9.40	0.4	9.0	1.04	78	9.30	1.0	8.3	1.12
38	6.70	0.4	6.3	1.06	79	6.50	0.6	5.9	1.10
39	42.50	1.8	40.7	1.04	80	13.80	1.6	12.2	1.13
40	20.90	1.4	19.5	1.07	81	48.30	3.4	44.9	1.08
41	30.90	2.2	28.7	1.08	82	23.50	0.8	22.7	1.04

¹FC= DNCC/DNSC

Donde: DNCC= diámetro normal con corteza; DNSC= diámetro normal sin corteza.



Apéndice 2.5. Relación diámetro normal(d) y doble ancho de corteza(dac) para estimar el grosor de corteza de algunos árboles de *Picea mexicana* Martínez de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.

Apéndice 2.6. Categorías diamétricas y grosor de corteza estimada de *Picea mexicana* Martínez de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.

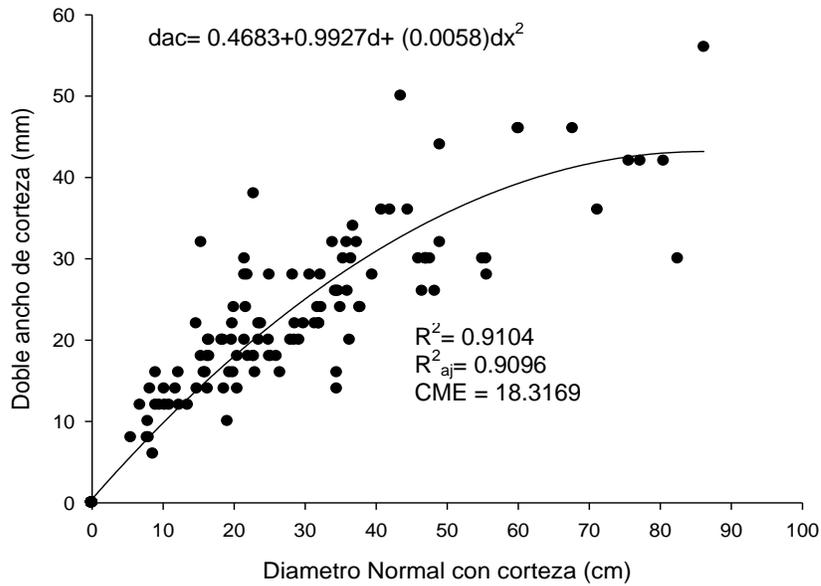
Categoría diamétrica	Doble ancho de corteza ajustada (mm)
5	5.78
10	10.92
15	15.50
20	19.52
25	22.98
30	25.88
35	28.22
40	30.00
45	31.22
50	31.88
55	31.98
60	31.52
65	30.50
70	28.92

Apéndice 2.7. Datos originales de diámetro normal con corteza, doble ancho de corteza, diámetro sin corteza y factor de conversión de corteza de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Mohinora, municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)	Número	Diámetro normal con corteza (cm)	Doble ancho de corteza (cm)	Diámetro sin corteza (cm)	¹ Factor de conversión (FC)
1	36.30	2	34.30	1.06	59	7.90	1	6.90	1.14
2	36.50	3	33.50	1.09	60	9.50	1.2	8.30	1.14
3	32.00	2.2	29.80	1.07	61	8.20	1.4	6.80	1.21
4	80.50	4.2	76.30	1.06	62	13.50	1.2	12.30	1.10
5	23.00	1.6	21.40	1.07	63	10.30	1.2	9.10	1.13
6	47.00	3	44.00	1.07	64	14.80	1.4	13.40	1.10
7	28.00	2	26.00	1.08	65	64.40	5.6	58.80	1.10
8	46.50	2.6	43.90	1.06	66	47.60	3	44.60	1.07
9	86.20	5.6	80.60	1.07	67	46.00	3	43.00	1.07
10	34.50	1.4	33.10	1.04	68	29.80	2.2	27.60	1.08
11	34.50	1.6	32.90	1.05	69	31.80	2.4	29.40	1.08
12	36.00	2.6	33.40	1.08	70	22.80	1.8	21.00	1.09
13	29.20	2	27.20	1.07	71	23.50	2	21.50	1.09
14	22.00	1.8	20.20	1.09	72	21.90	2.8	19.10	1.15
15	55.60	2.8	52.80	1.05	73	75.60	4.2	71.40	1.06
16	35.90	3.2	32.70	1.10	74	19.80	2.2	17.60	1.13
17	63.50	5.4	58.10	1.09	75	16.00	1.6	14.40	1.11
18	37.80	2.4	35.40	1.07	76	26.00	1.8	24.20	1.07
19	32.00	2.2	29.80	1.07	77	35.00	2.4	32.60	1.07
20	49.00	3.2	45.80	1.07	78	15.80	1.6	14.20	1.11
21	23.80	2.2	21.60	1.10	79	20.00	2.4	17.60	1.14
22	37.30	3.2	34.10	1.09	80	71.20	3.6	67.60	1.05
23	31.40	2.2	29.20	1.08	81	25.20	1.8	23.40	1.08
24	23.50	2.2	21.30	1.10	82	26.50	1.6	24.90	1.06
25	35.40	3	32.40	1.09	83	22.80	1.8	21.00	1.09
26	30.70	2.8	27.90	1.10	84	16.40	2	14.40	1.14
27	28.50	2	26.50	1.08	85	28.60	2.2	26.40	1.08
28	37.70	2.4	35.30	1.07	86	15.40	3.2	12.20	1.26
29	6.80	1.2	5.60	1.21	87	21.50	3	18.50	1.16
30	36.80	3.4	33.40	1.10	88	55.50	3	52.50	1.06
31	47.00	3	44.00	1.07	89	60.10	4.6	55.50	1.08
32	40.80	3.6	37.20	1.10	90	25.00	2.8	22.20	1.13
33	44.50	3.6	40.90	1.09	91	19.90	1.6	18.30	1.09
34	49.00	4.4	44.60	1.10	92	47.20	3	44.20	1.07
35	43.50	5	38.50	1.13	93	16.50	1.8	14.70	1.12
36	33.90	3.2	30.70	1.10	94	77.20	4.2	73.00	1.06
37	21.50	2	19.50	1.10	95	48.30	2.6	45.70	1.06
38	60.00	4.6	55.40	1.08	96	55.00	3	52.00	1.06
39	20.50	1.8	18.70	1.10	97	18.30	2	16.30	1.12
40	67.70	4.6	63.10	1.07	98	14.70	2.2	12.50	1.18
41	20.50	1.4	19.10	1.07	99	24.90	2	22.90	1.09
42	34.50	2.6	31.90	1.08	100	12.20	1.6	10.60	1.15
43	19.40	1.6	17.80	1.09	101	82.50	3	79.50	1.04
44	16.50	2	14.50	1.14	102	18.50	2	16.50	1.12
45	32.30	2.4	29.90	1.08	103	18.60	1.4	17.20	1.08
46	21.50	2.8	18.70	1.15	104	19.10	1	18.10	1.06
47	22.80	3.8	19.00	1.20	105	16.30	1.4	14.90	1.09
48	15.40	1.8	13.60	1.13	106	19.70	2	17.70	1.11
49	21.70	2.4	19.30	1.12	107	28.30	2.8	25.50	1.11
50	16.30	1.8	14.50	1.12	108	8.60	0.6	8.00	1.08
51	10.90	1.2	9.70	1.12	109	9.00	1.6	7.40	1.22
52	9.00	1.2	7.80	1.15	110	42.00	3.6	38.40	1.09
53	8.00	0.8	7.20	1.11	111	25.00	1.8	23.20	1.08
54	7.80	0.8	7.00	1.11	112	39.50	2.8	36.70	1.08
55	5.50	0.8	4.70	1.17	113	34.30	2.6	31.70	1.08
56	11.80	1.4	10.40	1.13	114	32.20	2.8	29.40	1.10
57	12.30	1.2	11.10	1.11	115	34.70	2.6	32.10	1.08
58	10.20	1.4	8.80	1.16					

¹FC= DNCC/DNSC

Donde: DNCC= diámetro normal con corteza; DNSC= diámetro normal sin corteza



Apéndice 2.8. Relación diámetro normal (d) y doble ancho de corteza (dac) para estimar el grosor de corteza de árboles de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Mohinora, municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

Apéndice 2.9. Categorías diamétricas y grosor de corteza estimada de *Picea mexicana* Martínez de la población de El Mohinora, municipio de Guadalupe y Calvo.

Categoría diamétrica	Doble grosor de corteza Estimada (mm)
5	5.43
10	10.40
15	15.37
20	20.34
25	25.31
30	30.28
35	35.25
40	40.23
45	45.21
50	50.19
55	55.17
60	60.15
65	65.14
70	70.12
75	75.11
80	80.10
85	85.09
90	90.08
95	95.08

Apéndice 3. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de altura de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Mohinora, municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	B	C	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	35.0391	0.00257			0.2356	0.2288	41.2674
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	35.0396	0.0770	0.1000		0.2356	0.2288	41.2674
Monomole- cular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	-13.4961	-0.00359	1.6419		0.2589	0.2456	40.3682
Logístico[¶]	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	3388665	0.00596	339725		0.2576	0.2510	40.0771
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	402.4	3.7889	0.00202		0.2586	0.2453	40.3837
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	31.0501	48.2569			0.2219	0.2149	42.0079
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	366091	2.906E-6	0.6219		0.2519	0.2452	40.3857
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	355761	6.4657E8	0.6270	0.9918	0.2519	0.2452	40.3857
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	2828.8	1.033E11	0.3109		0.2519	0.2452	40.3857
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	7.1819	-0.0429	-0.6688		0.2596	0.2462	40.3327
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	402.2	3.7882	0.1009	0.0200	0.2586	0.2453	40.3837
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	2.231E66	0.9399	0.6219		0.2519	0.2452	40.3857
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-7.31E15	-3.22E17	9.2669	1.2987	0.2575	0.2441	40.4455

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶ = modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R² = Coeficiente de determinación; R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado; CME = Cuadrado medio de error.

Apéndice 4. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de altura de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	B	C	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	24.2406	0.00376			0.6618	0.6579	13.6964
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	24.2405	0.1129	0.1000		0.6618	0.6579	13.6964
Monomole- cular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	21.4278	0.0190	1.2946		0.6908	0.6908	12.6689
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	20.3403	0.0422	8.6300		0.6849	0.6776	12.9081
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	20.7092	3.1587	0.0301		0.6897	0.6825	12.7136
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	26.6634	45.3675			0.6873	0.6837	12.6643
Weibull[¶]	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	20.7715	0.00223	1.4662		0.6909	0.6837	12.6641
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	21.7892	17331.1	0.6627	2.3181	0.6902	0.6792	12.8436
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	22.2388	3210.2	0.8955		0.6901	0.6829	12.698
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	24.7166	70.1373	1.1375		0.6884	0.6812	12.7654
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	20.7092	3.1587	0.1507	0.2000	0.6897	0.6825	12.7136
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	22.3490	88.7101	1.9165		0.6899	0.6828	12.7006
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-4.506E8	4220000	35.4085	-0.3783	0.6843	0.6769	12.9353

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶ = modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R² = Coeficiente de determinación; R²_{aj} = Coeficiente de determinación ajustado; CME = Cuadrado medio de error.

Apéndice 5. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de altura de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de La Marta, municipio de Rayones Nuevo León.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	B	C	d			
Von Bertalanffy ¶	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	71.7370	0.00112			0.5782	0.5745	14.5892
Chapman-Richards ¶	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	71.7370	0.0336	0.1000		0.5782	0.5745	14.5892
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	59.9252	0.00428	1.0093		0.5784	0.5710	14.7113
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	31.8395	0.0260	7.0778		0.5681	0.5606	15.0684
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	36.5552	2.5550	0.0150		0.5726	0.5649	14.9209
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	34.0602	54.5319			0.5616	0.5577	15.1656
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	86.8227	0.00304	0.9733		0.5782	0.5708	14.716
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	119515	6.4657E8	0.6270	1.4021	0.5778	0.5742	14.6015
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	78.3302	180919	0.4546		0.5780	0.5706	14.7249
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	1650.1	10.3708	0.1866		0.5790	0.5716	14.6889
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	36.5552	2.5550	0.0750	0.2000	0.5724	0.5649	14.9209
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	136.8	4.0119	0.9924		0.5783	0.5709	14.7143
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-	-3.22E23	-	0.5979	0.5805	0.5732	14.6356
		5.53E23		6.6112				

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 6. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de diámetro normal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Mohinora, Chihuahua.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	143.2	0.000472			0.3701	0.3655	47.7384
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	143.3	0.0141	0.1000		0.3701	0.3655	47.7384
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	-19.5242	-0.00393	1.3198		0.3807	0.3718	47.2705
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	78.1136	0.0106	9.3025		0.3802	0.3713	47.3071
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	208.7	3.3803	0.00335		0.3805	0.3715	47.2892
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	47.4783	88.0150			0.3272	0.3223	50.9880
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	2370080	1.37E-7	0.8832		0.3730	0.3685	47.5136
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	5783506	8.733E10	0.6627	1.3328	0.3730	0.3685	47.5136
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	16291.8	4.406E10	0.4416		0.3730	0.3685	47.5136
Korf ¶	$y = ae^{-bt^{-c}}$	4.7414	-0.0925	-0.5852		0.3808	0.3718	47.2641
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	208.7	3.3804	0.0168	0.2000	0.3805	0.3715	47.2892
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	1.766E39	3.0797	0.8832		0.3730	0.3685	47.5136
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-4.45E15	-3.22E17	7.9846	1.4427	0.3803	0.3713	47.3039

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 7. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de diámetro normal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	43.5803	0.00352			0.6228	0.6206	44.2781
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	43.5803	0.1056	0.1000		0.6228	0.6206	44.2781
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	40.5251	0.0136	1.0963		0.6273	0.6229	44.056
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	37.5775	0.0316	5.7891		0.6091	0.6045	46.1569
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	38.4549	2.4029	0.0223		0.6185	0.6140	45.0442
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	44.9065	43.4351			0.6271	0.6249	43.7714
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	40.3744	0.00711	1.1269		0.6250	0.6206	44.2818
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	30873796	8.733E10	0.6627	0.8920	0.5917	0.5893	47.9282
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	41.9714	9317.2	0.5473		0.6254	0.6210	44.2303
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	55.2767	20.6312	0.7494		0.6307	0.6264	43.6065
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	38.4551	2.4029	0.1117	0.2000	0.6185	0.6140	45.0442
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	45.7015	7.9577	1.3998		0.6279	0.6236	43.9337
Yoshida I[¶]	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-9.045E8	4220000	163.4	- 0.1005	0.6327	0.6284	43.3679

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 8. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de diámetro normal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de La Marta, Nuevo León.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	66.2219	0.00172			0.5819	0.5798	22.6972
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	66.2201	0.0515	0.1000		0.5819	0.5798	22.6972
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	41.5844	0.0112	1.1173		0.5882	0.5840	22.4691
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	31.3085	0.0385	8.0131		0.5862	0.5820	22.5779
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	33.8279	2.8877	0.0248		0.5877	0.5836	22.4942
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	43.3455	51.9577			0.5835	0.5814	22.6108
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	35.2205	0.00277	1.3518		0.5884	0.5842	22.4589
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	9381109		0.6627	1.2896	0.5758	0.5737	23.0276
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	40.7664	9647.6	0.6381		0.5881	0.5840	22.4734
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	77.8099	17.2648	0.6015		0.5878	0.5836	22.4936
Sloboda[¶]	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	33.8279	2.8877	0.1241	0.2000	0.5877	0.5877	22.4942
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	45.7811	15.8100	1.4977		0.5880	0.5838	22.4798
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-	4220000	9022.6	-	0.5843	0.5843	22.5685
		3.83E10			0.00164			

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 9. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de área basal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Mohinora, Chihuahua.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy[¶]	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-0.0206	-0.00307			0.4236	0.4195	0.0005
Chapman-Richards[¶]	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-0.0206	-0.0922	0.1000		0.4236	0.4195	0.0005
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	4.28E-11	-0.0127	-	2.032E8	0.4206	0.4164	0.0005
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.2751	0.0168	42.5166		0.4244	0.4164	0.0005
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	2.3866	6.1402	0.00346		0.4244	0.4153	0.0005
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	0.3215	235.0			0.3875	0.3827	0.0005
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	210042	4.02E-11	1.7827		0.4191	0.4143	0.0005
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	1.8256E9	6.4657E8	1.6270	1.0957	0.4191	0.4143	0.0005
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	25938.8	4.406E10	0.8913		0.4191	0.4143	0.0005
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.00219	-0.1992	-0.5622		0.4244	0.4153	0.0005
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	2.3866	6.1402	0.0173	0.2000	0.4244	0.4153	0.0005
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	1.766E39	118431	1.7827		0.4191	0.4143	0.0005
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	326343	4.817E11	0.00961	2.2472	0.4236	0.4153	0.0005

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 10. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de área basal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de El Coahuilón, municipio de Arteaga, Coahuila.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	0.8523	0.000250			0.5435	0.5411	0.0008
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	0.8523	0.00750	0.1000		0.5435	0.5411	0.0008
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	0.1869	0.00566	1.1121		0.5632	0.5581	0.0008
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.1266	0.0320	18.4012		0.5458	0.5405	0.0008
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	0.1350	3.9612	0.0183		0.5545	0.5493	0.0008
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	0.1848	92.6840			0.5568	0.5543	0.0008
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	0.1409	0.000496	1.5683		0.5581	0.5526	0.0008
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	1.344E11	6.4657E8	1.6270	0.6112	0.5426	0.5399	0.0008
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	0.1629	16831.0	0.8501		0.5590	0.5537	0.0008
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.3159	28.9407	0.6403		0.5623	0.5571	0.0008
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	0.1350	3.9612	0.0915	0.2000	0.5545	0.5493	0.0008
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	-2.28E55	1609.0	0.9943		0.5426	0.5399	0.0008
Yoshida I[¶]	$y = at^d/(b + t^d) + c$	583607	42498733	-0.0599	0.4840	0.5641	0.5593	0.0008

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 11. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de área basal de *Picea mexicana* Martínez, en la localidad de La Marta, Nuevo León.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-0.0524	-0.00237			0.4968	0.4936	0.0002
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-0.0524	0.00647	-1.1000		0.4968	0.4936	0.0002
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	0.3145	0.00253	1.0611		0.5247	0.5193	0.0002
Logístico[¶]	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.0747	0.0491	37.0092		0.5311	0.5257	0.0002
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	0.0881	5.6659	0.0258		0.5300	0.5257	0.0002
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	0.1652	108.2			0.5268	0.5236	0.0002
Weibull[¶]	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	0.0784	0.000031	2.3133		0.5311	0.5257	0.0002
Levakovic I	$y = a(t^d/(b+t^d))^c$	1.78E10	6.4657E8	1.6270	0.8705	0.5107	0.5086	0.0002
Levakovic III	$y = a(t^2/(b+t^2))^c$	0.1175	7050.3	1.3648		0.5290	0.5236	0.0002
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.2277	60.5212	0.8179		0.5279	0.5236	0.0002
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	0.0881	5.6658	0.1289	0.2000	0.5300	0.5257	0.0002
Hossfeld IV	$y = t^c/(b+t^c/a)$	-	12145.6	1.4163		0.5107	0.5086	0.0002
Yoshida I	$y = at^d/(b+t^d)+c$	3.28E50 55626.4	42498733	-0.0210	0.8836	0.5247	0.5193	0.0002

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 12. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de altura de las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	29.9125	0.00322			0.5108	0.5093	24.8338
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	29.9125	0.0966	0.1000		0.5108	0.5093	24.8338
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	25.6266	0.0152	1.1950		0.5204	0.5174	24.4239
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	23.5415	0.0329	6.1637		0.5058	0.5027	25.1698
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	24.1340	2.6676	0.0243		0.5134	0.5104	24.7795
Schumacher[¶]	$y = ae^{-b/t}$	30.7792	49.2475			0.5206	0.5191	24.3371
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	25.0750	0.00414	1.2655		0.5175	0.5144	24.5736
Levakovic I	$y = a(t^d/(b+t^d))^c$	3.072E-9	128560	-1.6627	-0.3827	0.4825	0.4809	26.2726
Levakovic III	$y = a(t^2/(b+t^2))^c$	26.4859	6276.5	0.6881		0.5178	0.5147	24.5592
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	32.7135	38.1103	0.9184		0.5209	0.5178	24.4023
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	24.1339	2.6676	0.1214	0.2000	0.5134	0.5104	24.7795
Hossfeld IV	$y = t^c/(b+t^c/a)$	28.0162	30.2173	1.6213		0.5188	0.5158	24.5043
Yoshida I	$y = at^d/(b+t^d)+c$	- 5.098E8	4220000	73.7157	-0.1706	0.5217	0.5187	24.3601

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 13. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de diámetro normal de las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	36.7034	0.00353			0.4216	0.4205	46.7511
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	36.7034	0.1058	0.1000		0.4216	0.4205	46.7511
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	46.8433	0.00606	0.9153		0.4265	0.4243	46.4452
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	39.7183	0.0163	3.6477		0.4089	0.4066	47.8725
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	41.2626	1.7678	0.0113		0.4169	0.4147	47.2209
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	35.6248	40.0426			0.4151	0.4139	47.2799
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	11229423	1.37E-7	0.5888		0.4317	0.4306	45.9375
Levakovic I	$y = a(t^d/(b+t^d))^c$	27402373	8.733E10	0.6627	0.8885	0.4317	0.4306	45.9375
Levakovic III	$y = a(t^2/(b+t^2))^c$	2093.3	4.406E10	0.2944		0.4317	0.4306	45.9375
Korf [¶]	$y = ae^{-bt^{-c}}$	384.1	7.0788	0.2017		0.4311	0.4333	45.8977
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	41.2621	1.7678	0.0566	0.2000	0.4169	0.4147	47.2209
Hossfeld IV	$y = t^c/(b+t^c/a)$	3.796E62	0.6500	0.5888		0.4317	0.4306	45.9375
Yoshida I	$y = at^d/(b+t^d)+c$	-3.52E18	-3.22E17	-19.5170	0.2974	0.4353	0.4331	45.7335

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

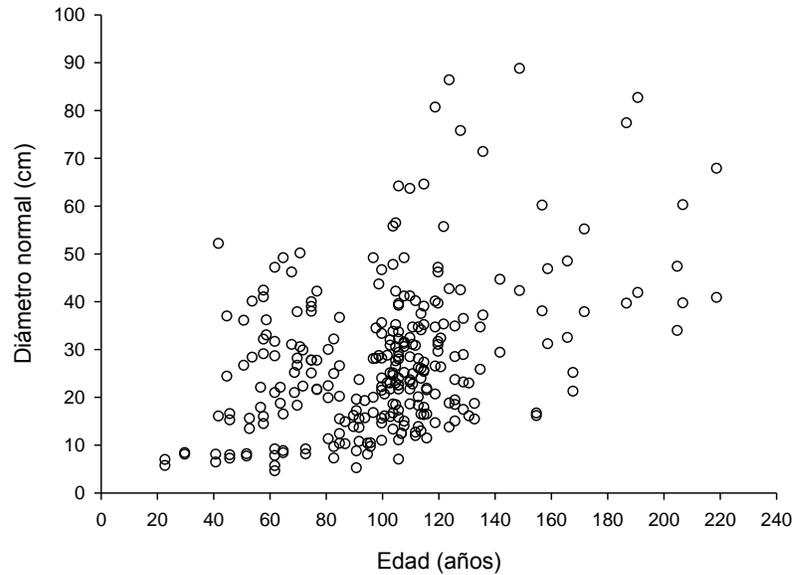
Apéndice 14. Modelos de crecimiento, parámetros de regresión y estadísticos de comparación de área basal de las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{aj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-0.1545	-0.00086			0.4193	0.4184	0.0006
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-0.1545	-0.0259	0.1000		0.4193	0.4184	0.0006
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	7.77E-11	-0.00947	-		0.3980	0.3966	0.0006
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.1988	0.0148	2.032E8		0.4084	0.4061	0.0006
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	0.3468	3.6226	0.00564		0.4126	0.4099	0.0006
Schumacher	$y = ae^{-b/t}$	0.1451	104.3			0.3677	0.3662	0.0007
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	6057148	4.02E-11	1.1412		0.4163	0.4155	0.0006
Levakovic I	$y = a(t^d/(b+t^d))^c$	5.265E10	6.4657E8	1.6270	0.7014	0.4163	0.4156	0.0006
Levakovic III	$y = a(t^2/(b+t^2))^c$	288.3	4.406E10	0.5706		0.4163	0.4156	0.0006
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.000575	-1.3434	-0.2558		0.4191	0.4165	0.0006
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	0.3468	3.6226	0.0282	0.2000	0.4126	0.4099	0.0006
Hossfeld IV[¶]	$y = t^c/(b+t^c/a)$	-0.1101	1024.1	0.7563		0.4219	0.4193	0.0006
Yoshida I	$y = at^d/(b+t^d)+c$	71187448	4.817E11	0.00321		0.4167	0.4146	0.0006

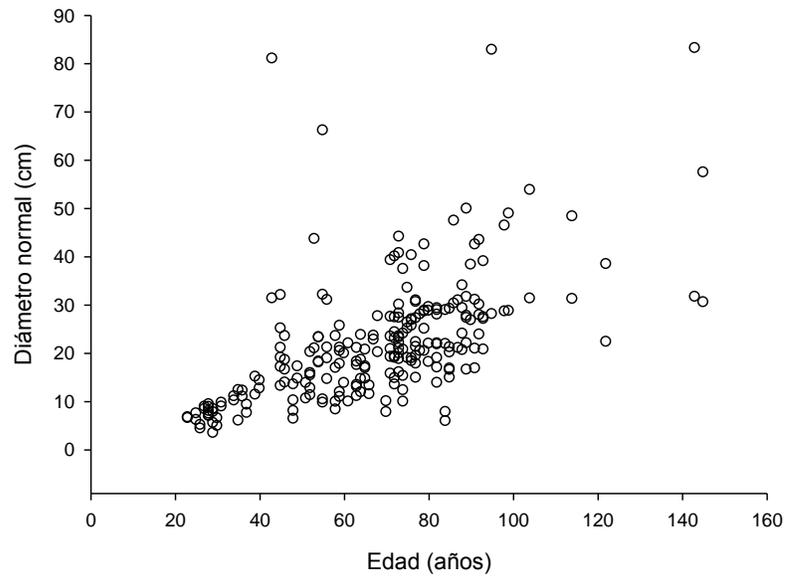
0.2313

Donde: y = variable de estudio; a, b, c, d = parámetros de regresión; t = edad; e = base logaritmos naturales; ¶= modelo seleccionado; E = número elevado al exponente; R²= Coeficiente de determinación; R²_{aj}= Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Apéndice 15. Diagrama de dispersión de los datos originales de las poblaciones de El Mohinora, Chihuahua y de La Marta Nuevo León.



Apéndice 15.1. Diagrama de dispersión de los datos originales de la población de El Mohinora, municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua.



Apéndice 15.2. Diagrama de dispersión de los datos originales de la población de La Marta, municipio de Rayones, Nuevo León.