

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento de Pináceas Asociadas a Poblaciones Naturales  
de *Picea mexicana* Martínez en México

Por:

**GABRIEL EDUARDO CERVANTES ANGEL**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento de Pináceas Asociadas a Poblaciones Naturales  
de *Picea mexicana* Martínez en México

Por:

**GABRIEL EDUARDO CERVANTES ANGEL**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada

Dr. Celestino Flores López  
Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL

Dr. Alejandro Zárate Lupercio  
Coasesor

M. C. Héctor Darío González López  
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre, 2014

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con No. 38-111-3613-2122, a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A Dios por ser un amigo y compañero, el motivo y guía en mi vida, todo fue posible gracias a su infinito amor, siempre te alabaré.

A mis padres:

*Sra. Irma Angel Clemente*

*Sr. Marcos Cervantes Molina.*

Quienes me dieron la vida, y procuraron darme alegría desde mi niñez. A ellos les agradezco la persona que hicieron de mí. A mi madre, por su incondicional apoyo en los momentos difíciles y por sus consejos oportunos. A mi padre, por sus regaños, consejos y la paciencia para enseñarme. Son mi orgullo, y siempre estaré agradecido con Dios por ser ustedes mis padres. Son la fortaleza y alegría de mi hogar.

A mis hermanos y hermana:

*Sr. Eddy Ulises Cervantes Angel*

*Sr. Marco Antonio Cervantes Angel*

*Lic. Maricela Cervantes Angel.*

Quienes siempre han sido mis mejores amigos, en ustedes siempre encontré apoyo incondicional en los momentos difíciles de mi carrera y por su confianza que depositaron en mí. Son parte fundamental de mi vida y son parte de mi logro.

A mi novia:

*Ing. Yocellyn Vázquez Ibarra.*

Por ser parte de mí vida, ser una persona comprensiva y apoyarme desde el inicio de nuestra hermosa relación, siempre tendrás un espacio muy especial en mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por su bendición y prestarme la vida, permitiéndome 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.

Al Dr. Celestino Flores López, por su disposición 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 Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo; por su amistad y consejos durante mi estancia en la Universidad.

Al M.C. Héctor Darío González López, por su valiosa asesoría en la elaboración de este trabajo; por su amistad y consejos durante mi estancia en la Universidad.

Al Ing. Sergio Braham Sabag y al Dr. José Angel Villarreal Quintanilla, por su amistad, apoyo y consejos durante mi estancia en la Universidad.

A mis compañeros de la generación CVII, por vivir momentos inolvidables durante mi estancia en la Universidad, en especial a mis amigos Juan Hernández, Leopoldo Damián, José Luis Pérez, Migdalia Barrios, Edelmira Chaparro, Alejandro García, Santos Cruz, Julio Cesar Gómez, Leonel Domínguez, Celso de la Cruz, Anabel Martínez, Rodrigo Montoya, Iván de Jesús Roblero y José Luis de la Cruz, por su amistad y apoyo incondicional.

A todos, Gracias...

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT .....	vii
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos .....	4
1.2 Hipótesis .....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Antecedente general del género <i>Picea</i> .....	5
2.2 Antecedente general de la especie <i>Picea mexicana</i> Martínez .....	5
2.2.1 Descripción de <i>Picea mexicana</i> Martínez .....	5
2.2.2 Distribución .....	6
2.2.3 Aspectos ecológicos .....	7
2.2.4 Estatus de conservación de <i>Picea mexicana</i> Martínez .....	8
2.2.5 Estructura de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez .....	8
2.3 Monitoreo de poblaciones .....	10
2.4 Crecimiento e incremento de un bosque.....	11
2.4.1 Crecimiento en altura .....	12
2.4.2 Crecimiento en diámetro .....	13
2.5 Técnicas de medición del crecimiento.....	14
2.5.1 Métodos indirectos .....	14
2.5.2 Métodos directos.....	14
2.6 Curvas de crecimiento.....	15
2.7 Modelos de crecimiento .....	16
2.8 Estudios de crecimiento en México .....	17
2.8.1 Estudios de crecimiento en especies del género <i>Pinus</i> en México .....	17
2.8.2 Estudios en crecimiento de especies del género <i>Picea</i> en México .....	18
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1 Descripción de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.....	19
3.2 Sistema de muestreo .....	23

3.3	Variables dasométricas evaluadas en campo .....	23
3.4	Evaluación de virutas de crecimiento .....	24
3.5	Modelos de crecimiento y ajustes. ....	25
3.6	Modelos de crecimiento para <i>Picea mexicana</i> .....	26
3.7	Comparación de curvas con crecimiento e incremento medio anual máximo .....	26
4	RESULTADOS .....	29
4.1	Población El Coahuilón de Arteaga, Coahuila de Zaragoza.....	29
4.1.1	Crecimiento e incremento en diámetro normal de <i>Pinus rudis</i> Endl.....	29
4.1.2	Crecimiento e incremento en altura de <i>Pinus rudis</i> Endl.....	31
4.2	Población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	33
4.2.1	Crecimiento e incremento en diámetro normal de <i>Abies vejari</i> Martínez .....	33
4.2.2	Crecimiento e incremento en altura de <i>Abies vejari</i> Martínez .....	35
4.2.3	Crecimiento e incremento en diámetro normal de <i>Pinus rudis</i> Endl.....	37
4.2.4	Crecimiento e incremento en altura de <i>Pinus rudis</i> Endl.....	39
4.2.5	Crecimiento e incremento en diámetro de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb. ....	41
4.2.6	Crecimiento e incremento en altura de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.....	43
4.3	Población Cerro El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	45
4.3.1	Crecimiento e incremento en diámetro normal de <i>Abies durangensis</i> Martínez.....	45
4.3.2	Crecimiento e incremento en altura de <i>Abies durangensis</i> Martínez. ....	47
4.3.3	Crecimiento e incremento en diámetro normal de <i>Pseudotsuga</i> <i>menziesii</i> Mirb.....	49
4.3.4	Crecimiento e incremento en altura de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.....	51
4.4	Comparación de curvas de crecimiento .....	53
5	DISCUSIÓN .....	55
6	CONCLUSIONES.....	63
7	RECOMENDACIONES .....	64
8	LITERATURA CITADA.....	65
	APÉNDICE .....	76

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Aspectos ecológicos de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez.....	7
Cuadro 2. Especies arbóreas asociadas a <i>Picea mexicana</i> Martínez, en poblaciones naturales de México.....	9
Cuadro 3. Estudios de crecimiento en especies del género <i>Pinus</i> .....	17
Cuadro 4. Algunos estudios en especies del género <i>Picea</i> en México. ....	18
Cuadro 5. Localización de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez en los estados de Nuevo León, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua. ....	19
Cuadro 6. Especies representativas asociadas con <i>Picea mexicana</i> Martínez y número de árboles evaluados donde se obtuvieron virutas para la evaluación del crecimiento.....	24
Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para estimar diámetro y altura.....	25
Cuadro 8. Modelos seleccionados por variables y por poblaciones de <i>Picea mexicana</i> Martínez. ....	26
Cuadro 9. Resumen de modelos ajustados por especie para la variable diámetro por población. ....	56
Cuadro 10. Resumen de modelos ajustados por especie para la variable altura por población. ....	58
Cuadro 11. Incrementos medio anuales a la edad de 30 años por especie para la variable altura y diámetro normal.....	61
Cuadro 12. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, en las variables altura y diámetro normal. ....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de <i>Picea mexicana</i> Martínez en el estado de Nuevo León.....	20
Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de <i>Picea mexicana</i> Martínez en el estado de Coahuila de Zaragoza.....	21
Figura 3. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de <i>Picea mexicana</i> Martínez en el estado de Chihuahua.....	22
Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pinus rudis</i> Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población el Coahuilón, de Arteaga, Coahuila de Zaragoza.....	30
Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pinus rudis</i> Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población el Coahuilón, de Arteaga, Coahuila de Zaragoza. ....	32
Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Abies vejari</i> Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	34
Figura 7. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Abies vejari</i> Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	36
Figura 8. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pinus rudis</i> Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	38
Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pinus rudis</i> Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	40

Figura 10. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	42
Figura 11. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León. ....	44
Figura 12. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Abies durangensis</i> Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	46
Figura 13. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Abies durangensis</i> Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	48
Figura 14. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	50
Figura 15. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	52
Figura 16. Diagrama de dispersión de los datos de <i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.....	54

## RESUMEN

*Picea mexicana* Martínez es una de las tres especies de *Picea* considerada en peligro de extinción de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010. Son escasos los estudios ecológicos y en el conocimiento de las estructuras de las poblaciones; dónde una de las actividades más importantes es el monitoreo periódico de las poblaciones; por esta razón el propósito de este estudio fue analizar el crecimiento e incremento en altura y diámetro normal de las Pináceas asociadas a *Picea mexicana* en las tres poblaciones naturales en México, utilizando virutas de crecimiento.

En los sitios permanentes de las poblaciones de la La Marta, N.L., El Coahuilón, Coah. y El Mohinora, Chih., se obtuvieron 41, 27 y 132 virutas de árboles respectivamente, para las Pináceas presentes, donde se obtuvo la edad. Para las variables alométricas edad-altura y edad-diámetro, se emplearon cuatro modelos de crecimiento: Schumacher, Chapman-Richards, Weibull y Korf. En la selección del mejor modelo se consideró el valor mayor de los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y el ajustado ( $R^2_{adj}$ ), y el menor valor del cuadrado medio del error.

Las Pináceas asociadas presentes en este estudio es *Pinus rudis* Endl., *Abies durangensis* Mtz., *Pseudotsuga menziesii* Mirb., y *Abies vejari* Mtz. El ajuste de los modelos de crecimiento con respecto a los estadísticos varió entre las Pináceas; sobresaliendo el modelo Korf que presentó mejores ajustes para altura y diámetro en las poblaciones de La Marta y El Mohinora.

Las respuesta de las curvas de crecimiento de las Pináceas asociadas, es similar a las curvas que presenta *Picea mexicana* para las variables altura y diámetro normal, presentaron un punto de inflexión sin llegar a presentar culminación; éstas no presentan la forma de “S” sigmoideal habitual. Para *Picea mexicana* la variable diámetro normal presenta un crecimiento menor con respecto a las curvas de las Pináceas asociadas, mientras que en altura presenta un crecimiento medio, situándose en la parte media con respecto a las curvas de crecimiento.

Palabras claves: *Picea mexicana*, crecimiento, especies asociadas, modelos de crecimiento.

## ABSTRACT

*Picea mexicana* Martínez is one of three species of *Picea* considered endangered according to NOM-059-SEMARNAT-2010. There are few ecological studies and knowledge of the structures of populations; where one of the most important activities is the periodic monitoring of populations; therefore the purpose of this study was to analyze the growth and increase in height and normal diameter of Pinaceas associated with *Picea mexicana* in three natural populations in México, using cylinders of growth.

In the permanent site of the populations of the La Marta, N.L., Coahuilón, Coahuila and the Mohinora, Chih., 41, 27 and 132 cylinders of growth were obtained respectively, for the present Pinaceas, where age was obtained. For allometric variables age- height and age-diameter, four growth models were used: Schumacher, Chapman-Richards, Weibull and Korf. In the selection of the best model, the higher value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) and adjusted ( $R^2_{aj}$ ) and the lower value of mean square error was considered.

The associated Pinaceas present in this study is *Pinus rudis* Endl., *Abies durangensis* Mtz., *Pseudotsuga menziesii* Mirb., and *Abies vejari* Mtz; the fit of the models of growth with respect to the statistical varies between Pinaceas. Korf projecting the model presented best settings for height and diameter in populations of La Martha and The Mohinora

The response curves of growth of the Pinaceas associated, is similar to the curves that *Picea mexicana* presents to the variables height and dbh, presented a turning point not presenting completion; they do not have the shape of "S" which is usual sigmoidal. To *Picea mexicana* dbh is the variable has a lower growth compared to the curves of the associated Pináceas, while in height presents an average height growth, ranking in the middle compared to growth curves.

Key words: *Picea mexicana*, growth, associated species, growth models.

## 1 INTRODUCCIÓN

La riqueza florística de México se debe a su amplia variedad de condiciones fisiográficas y climáticas, cabe señalar, que no solo es importante la existencia de una gran diversidad de climas, sino también su distribución geográfica, las numerosas sierras, cadenas montañosas, las zonas de clima árido y semiárido, separadas unas de las otras, contribuyen a la génesis, endemismo y en general a la riqueza de la flora (Rzedowski, 1978).

En el informe 2004-2009 del inventario nacional forestal y de suelos, indica que la superficie forestal nacional en México, es de 138´041,245.30 ha. aproximadamente, representando el 71 % de la superficie del territorio nacional; de la superficie nacional forestal el 26 % lo ocupan los matorrales de zonas áridas, 15 % los matorrales de zonas semiáridas, 12 % las selvas bajas y otras áreas forestales como popales, tulares, y vegetación gipsófila, 10 % las selvas altas y medianas, 9 % los bosques de coníferas y latifoliadas, 8 % los bosques de latifoliadas, 6 % los bosques de coníferas, 1 % bosques mesófilos de montañas, 1 % manglares, y con menos de 0.5 % la vegetación comprendida en la categoría de otras asociaciones como son palmares, sabana, selva de galería (Rzedowski, 1978; CONAFOR, 2012).

De la superficie forestal nacional, el 47 % está cubierta por vegetación forestal arbolada (64.8 millones de hectáreas) principalmente en bosques y selvas; donde los bosques de coníferas ocupan un 12 % de la superficie forestal arbolada, con un 18 % de las existencias de madera en rollo en pie, de 3887 millones de metros cúbicos que tiene México; estos bosques se encuentran distribuidos en las cordilleras de la parte central, oriental y occidental del país, con clima templado y frío, suelos delgados rocosos o profundos; en éste tipo de vegetación se agrupan todas las comunidades vegetales constituidas por los diferentes géneros del orden Pinales, de los cuales el género *Pinus* es el de mayor importancia, por su amplia distribución (Flores-Mata *et al.*, 1971; CONAFOR, 2012 ).

A pesar de que el género *Pinus* tiene mayor distribución en el país, hay coníferas restringidas o relictas como es el género *Picea*, que se encuentra en bosques con altitudes de 2,000 a 3,500 msnm, en sitios sombríos y húmedos, generalmente ocupan

superficies muy reducidas en medio de pinares y regularmente se presentan como masas mixtas principalmente con *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Abies*. Los bosques de *Picea* son mucho más reducidos que los de *Pseudotsuga*, por eso representan un elemento relictual en bosques de los sistemas montañosos, del norte del territorio Mexicano (Rzedowski, 1978).

En México del género *Picea* se conocen solamente tres especies *Picea chihuahuana* Martínez, *Picea martinezii* T.F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez, las cuales son consideradas por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como especies en categoría de peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). La especie *Picea mexicana* tiene una distribución en poblaciones pequeñas y fragmentadas, en la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, en ésta especie se puede acelerar la extinción si las proyecciones actuales del calentamiento global se materializan, porque no puede retirarse hacia el norte o más alto en la elevación (Ledig *et al.*, 2002).

En México las tres poblaciones de *Picea mexicana* se ubican de manera aisladas, aún así, han sido gravemente afectadas a través de las presiones externas causadas principalmente por el ser humano, como la destrucción de su hábitat y su explotación, aunado a otros factores como la afectación por plagas y enfermedades, lo que provoca una constante reducción en las poblaciones (Ledig, 2012).

Debido al estatus en el cual se encuentra la especie *Picea mexicana*, el monitoreo mediante sitios permanentes es importante, estos estudios se realizan con el fin de evitar la extinción de especies, así como la pérdida completa de pequeñas poblaciones, la extinción de éstas pueden alterar procesos y servicios ecosistémicos importantes (Chapin III *et al.*, 2000).

Los sitios permanentes forman una parte importante en la investigación forestal; su establecimiento se realiza con la finalidad de monitorear periódicamente los cambios en el desarrollo de las especies forestales, bajo condiciones naturales o controladas. Es importante dicho monitoreo periódico, para identificar los cambios que sufren las poblaciones en periodos de tiempo prolongados, incluyendo el crecimiento y desarrollo de los árboles, así como la composición de especies, por eso el establecimiento de sitios permanentes de muestreo es una de las herramientas más útiles que se pueden utilizar en trabajos de investigación (Olvera-Vargas *et al.*, 1996).

Los bosques y los árboles individuales se miden para diversos fines y con una variedad de formas. Las mediciones de los árboles en altura, diámetro y edad sobre las parcelas, pueden caracterizar al bosque en términos de volúmenes corrientes, productividad potencial o para las prácticas refinadas de manejo, en consecuencia, los ingenieros forestales tienen que basarse en técnicas para extraer muestras de árboles de la población, las evaluaciones deben ser periódicas debido a que el bosque es un ecosistema dinámico que continuamente cambia en su estructura y composición (Young, 1991).

La importancia de estudiar crecimiento de especies asociadas a *Picea mexicana*, es que ciertas especies pueden servir como un buen indicador de condiciones ambientales. La existencia y prosperidad de un organismo dependen del carácter completo de un conjunto de condiciones. La ausencia o el deterioro de un organismo, podrán ser debidos a las deficiencias cualitativas o cuantitativas, con respecto a cualquiera de los diversos factores que se acercaran a los límites de tolerancia del organismo (Odum, 1972).

Las mediciones de árboles en altura, diámetro y edad sobre las parcelas pueden caracterizar el bosque en términos de volúmenes corrientes, productividad potencial o para las prácticas refinadas de manejo (Young, 1991). Las condiciones físicas de existencia no solamente pueden ser factores limitantes en el sentido de daño sino también factores reguladores en el sentido de beneficio, a los cuales reaccionan organismos adaptados de una manera tal que la comunidad logra la homeostasia máxima posible bajo esas condiciones (Odum, 1972).

En este estudio se analizó el crecimiento e incremento de cuatro coníferas que se encuentran asociadas a la especie *Picea mexicana* en las tres poblaciones naturales, evaluando los árboles con sitios permanentes de muestreo para especies relictas con fines de investigación, protección y conservación, utilizando virutas de crecimiento por el método de taladro de Pressler. Se compararon las curvas de crecimiento en incremento en diámetro y altura de las Pináceas asociadas con *Picea mexicana*.

## 1.1 Objetivos

Analizar el crecimiento e incremento de diámetro normal y altura de *Pinus rudis* Endl., *Abies durangensis* Mtz., *Pseudotsuga menziesii* Mirb., y *Abies vejari* Mtz, presentes en poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en Sierra la Martha (Nuevo León), Cerro el Coahuilón (Coahuila de Zaragoza) y Cerro del Mohinora (Chihuahua), mediante virutas de crecimiento.

Comparar curvas de crecimiento e incremento en diámetro normal y altura, de las Pináceas asociadas a *Picea mexicana* Martínez.

## 1.2 Hipótesis

H<sub>0</sub>. Los crecimientos e incrementos de las Pináceas *Pinus rudis* Endl., *Abies durangensis* Mtz., *Pseudotsuga menziesii* Mirb., y *Abies vejari* Mtz, asociadas a las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez tienen el mismo comportamiento.

H<sub>1</sub>. Los crecimientos e incrementos de las Pináceas *Pinus rudis* Endl., *Abies durangensis* Mtz., *Pseudotsuga menziesii* Mirb., y *Abies vejari* Mtz, asociadas a las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez no tienen el mismo comportamiento.



## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Antecedente general del género *Picea*

Las plantas pertenecientes a este género se asemejan mucho por su aspecto general y morfología de sus hojas a los árboles de *Abies* y *Pseudotsuga*, la similitud se extiende también al comportamiento ecológico debido a que las especies mexicanas de *Picea* ocupan hábitats análogos a los de *Abies* y *Pseudotsuga*. Forman bosques en altitudes entre 2000 y 3 200 m, en sitios sombríos y húmedos, preferentemente en laderas de cañadas, barrancas y valles muy protegidos, en general, ocupan superficies muy reducidas en medio de pinares y muchas veces se presentan como masas mixtas, principalmente con *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Abies*, siendo los bosques de *Picea* mucho más reducidos y sólo se conocen en el norte de México (Rzedowski, 1978).

En México se localizan únicamente tres especies *Picea chihuahuana* Martínez, *Picea martinezii* T. F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez, estas especies tienen diferente distribución y se ubican en poblaciones aisladas. Las poblaciones de estas coníferas han sido drásticamente reducidas, además, existe bastante desconocimiento acerca de sus requerimientos ecológicos y de su variabilidad genética y natural, lo cual origina que no sea posible establecer las estrategias más idóneas para su conservación y utilización (Ledig *et al.*, 2000; Valencia-Manzo *et al.*, 2012).

### 2.2 Antecedente general de la especie *Picea mexicana* Martínez

#### 2.2.1 Descripción de *Picea mexicana* Martínez

Es un árbol que presenta alturas de 25 a 28 metros, un fuste de 50 a 60 centímetros de diámetro, es de corteza lisa con un grosor de 15 a 18 milímetros, las placas son moreno blanquecinas. La ramificación inicia desde los dos o tres m, con ramas verticiladas, las de abajo están extendidas y las superiores son ascendentes formando una copa piramidal. Las ramillas son de colores amarillos opacos y pubescentes. Las hojas son cuadrangulares de 18 a 36 mm de largo por uno de ancho,

cuya terminación es cornea y pungente; 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 surrómbicas, estriadas con el ápice redondeado, presentando borde superior con el ápice finamente eroso denticulado, 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).

### 2.2.2 Distribución

*Picea mexicana* es una especie relictiva en las cumbres más altas de la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental en México, debido al aumento de las temperaturas en ésta especie se puede acelerar la extinción si las proyecciones actuales del calentamiento global se materializan, porque no puede retirarse hacia el norte o más alto en la elevación. Las poblaciones naturales se encuentran en la Sierra de La Marta ubicada en el estado de Nuevo León con una altitud de 3,500 m, y el Cerro del Coahuilón con 3,470 m.s.n.m. en el estado de Coahuila de Zaragoza, que son parte de la Sierra Madre Oriental, la población más lejana entre ellas, se encuentra en el Cerro del Mohinora con una altitud de 3,185 m. en el estado de Chihuahua dentro de la Sierra Madre Occidental (Ledig *et al*, 2004,2002; Flores-López *et al*, 2005).

Las tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* en México se sitúan al oeste en el cerro del Mohinora, que se encuentra a una distancia de 676 kilómetros del Cerro El Coahuilón ubicado al este del país, ésta última población se encuentra a 5 km de la sierra de La Marta, las cuales están separadas únicamente por el cañón el Guano. La vegetación asociada a las poblaciones de *Picea*, no son frecuentes en los tipos de vegetación de mayor distribución, es decir, mantienen condiciones micro climáticas muy específicas (Ledig *et al.*, 2000; Valencia-Manzo *et al.*, 2012).

### 2.2.3 Aspectos ecológicos

Aspectos ecológicos más puntuales, de las tres poblaciones de *Picea mexicana* en los estados de Nuevo León, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua (Cuadro 1).

Cuadro 1. Aspectos ecológicos de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez

Aspectos ecológicos.	Población		
	La Marta	El Coahuilón	El Mohinora
Clima	Cb' (w1) x': semifrío, sub-húmedo 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 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, sub-húmedo 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 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 Temperatura del mes más caliente: bajo 22°C. Precipitación en mes más seco: menor de 40 mm. Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal: mayor al 10.2 % del total anual.
Edafología	Litosol con áreas pequeñas de regosol calcárico. Textura: media.	Litosol y rendzina con áreas pequeñas de regosol calcárico. Textura: media.	Litosol y feozem háplico. Textura: media.
Fisiografía	Subprovincia: Gran Sierra Plegada. Provincia: Sierra Madre Oriental.	Subprovincia: Gran Sierra Plegada . Provincia: Sierra Madre Oriental.	Subprovincia: Gran Meseta y Cañones Duranguense. Provincia: Sierra Madre Occidental.
Hidrología	Región hidrológica: RH24 Bravo - Conchos. Cuenca: Río Bravo San Juan. Isoyetas: 400-600 mm anual.	Región hidrológica: RH24 Bravo - Conchos. Cuenca: Río Bravo San Juan. Isoyetas: 400-600 mm anual.	Región hidrológica: RH10 Sinaloa. Cuenca: Río Sinaloa. Isoyetas: 800 - 1200 mm anual.
Vegetación	Bosque de coníferas-encinos y matorral.	Bosque de pino-oyamel con vegetación secundaria.	Bosque de pino bosque de <i>Abies-Pseudotsuga</i> , bosque de <i>Abies</i> y bosque de <i>Abies-Picea</i> .

Fuente: García, 1981; Cervantes-Zamora *et al.*, 1990; INIFAP y CONABIO, 1995; INEGI e INE, 1996; García y CONABIO, 1998; CNA, 1998; CONANP, 2005.

#### 2.2.4 Estatus de conservación de *Picea mexicana* Martínez

*Picea mexicana* se considera especie relictas debido a la distribución actual y el tamaño reducido de los bosques (Rzedowski, 1978). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 considera esta especie en la categoría de peligro de extinción; sin embargo, en esta norma no se considera como endémica del país (SEMARNAT, 2010).

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 considera en la categoría de peligro de extinción, debido a que esta especie después del año 1950 ha experimentado una reciente disminución, se estima hasta el 50 %. Es probable una nueva disminución, por lo que la disminución global se estima en más de un 50 % en el año 2025. Además, el área que ocupan las poblaciones es inferior a 100 km<sup>2</sup>, pues se conocen solo tres lugares de poblaciones, que están severamente fragmentadas debido al pastoreo, los incendios y la tala (Thomas y Farjon, 2013).

#### 2.2.5 Estructura de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez

La población La Marta el tipo de vegetación es un bosque constituido por tres estratos. En el estrato arbóreo se encuentran presente las especies *Pseudotsuga flahualti* Flous, *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco, *Pinus hartwegii* Lindl., *Abies vejari* Martínez, *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schldl, *Pinus rudis* Endl., y *Picea mexicana* Martínez. El estrato arbustivo lo integran las especies *Quercus pungens* Liebm., *Q. Emory* Torr., *Q. hypoxantha* Trel., *Arbutus xalapensis* Kunth, *Cercocarpus mojadensis* C.K.Schneid, *Yucca carnerosana* (Trel.) McKelvey, *Gymnisperm glutinosum* (Spreng.) Less. y *Dasylirium* sp. y el estrato herbáceo lo constituyen *Bromus* sp., *vulpia octaflora* (Walter) Rydberg, *geranium mexicanum* Kunth. E *Hibiscus cardiophyllus* A. Gray. Para el caso de la población de El Coahuilón, la vegetación está principalmente constituida por un chaparral secundario con renuevos y relictos de *Abies* sp., *Pseudotsuga*

*macrolepis* Flous, *Pseudotsuga menziesii* Mirb., *Pinus rudis* Endl., y *Picea mexicana* Martínez (Cuadro 2) (Cornejo-Oviedo, 1987; Braham-Sabag, 1995).

El Cerro El Mohinora presenta vegetación dominada por varios tipos de bosques como bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de *Abies-Pseudotsuga*, bosque de *Abies* y bosque de *Abies-Picea*, donde la vegetación dominante está constituida por *Picea mexicana* Martínez, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Populus tremuloides* Michx., *Abies durangensis* Martínez, *Pinus cooperi* Blanco, *Pinus ayacahuite* C. Ehrenb. ex Schldl. *Pinus rudis* Endl., y *Pinus arizonica* Engelm. De todas las especies mencionadas anteriormente, éstas son las asociadas (Cuadro 2) (CONANP, 2005; Vega y Flores-López, 2008; Chaparro-Gómez, 2014).

Cuadro 2. Especies arbóreas asociadas a *Picea mexicana* Martínez, en poblaciones naturales de México.

No.	Poblaciones		
	La Marta	El Coahuilón	El Mohinora
1	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
2	<i>Populus tremuloides</i>	++	<i>Populus tremuloides</i>
3	<i>Pinus rudis</i>	<i>Pinus rudis</i>	++
4	<i>Pinus ayacahuite</i>	++	<i>Pinus ayacahuite</i>
5	++	<i>Pseudotsuga macrolepis</i>	++
6	<i>Pseudotsuga flahualti</i>	++	++
7	<i>Pinus hartwegii</i>	++	++
8	<i>Abies vejari</i> M	++	++
9	++	++	<i>Abies durangensis</i>
10	++	++	<i>Pinus cooperi</i>
11	++	++	<i>Pinus arizonica</i>

Fuente: Cornejo-Oviedo, 1987; Braham-Sabag, 1995; CONANP, 2005; Vega y Flores, 2008; Chaparro-Gómez, 2014.

## 2.3 Monitoreo de poblaciones

El monitoreo de ecosistemas por percepción remota se define como el seguimiento de la distribución espacial y temporal de la vegetación, determinándose los cambios cualitativos y cuantitativos, a fin de medir el comportamiento anual y estacional. Obteniéndose áreas con alteración y la variación fenológica de la vegetación a través de las estaciones, así también permite la detección de cambios en la condición, abundancia y distribución de las especies, con el objetivo de determinar los cambios significativos en aquellos componentes críticos del ecosistema, los cuales servirán de base para la conservación de los recursos naturales (Esquivel-Solís, 2003).

Los bosques y los árboles individuales se miden para diversos fines con una variedad de formas. Las mediciones de los árboles en altura, diámetro y edad sobre las parcelas pueden caracterizar al bosque en términos de volúmenes corrientes, productividad potencial o para las prácticas refinadas de manejo. En consecuencia, los ingenieros forestales tienen que basarse en técnicas para extraer muestras de árboles de la población. Las evaluaciones deben ser periódicas debido a que el bosque es un ecosistema dinámico, que continuamente cambia en su estructura y composición (Young, 1991).

Las observaciones obtenidas en parcelas permanentes, representan una base de datos muy importante para desarrollar modelos de crecimiento, aunque muchas tablas de producción se construyeron con base en datos de este tipo de parcelas, teniendo como desventaja dentro de su diseño el elevado costo de mantenimiento de la infraestructura de investigación y la larga espera por los datos. Mientras que las parcelas temporales pueden proporcionar una rápida solución en situaciones donde no existen datos sobre el desarrollo forestal, pero tienen como limitación que no proporcionan información sobre tasas de crecimiento y por eso no son muy recomendables (Gadow *et al*, 2004).

En la investigación realizada por Chaparro-Gómez (2014) evaluó incremento en volumen del arbolado en sitios permanentes establecidos en poblaciones de *Picea mexicana*, donde obtuvo la probabilidad de cambio de categorías diamétricas por especie en cada población, resultando que en la población La Marta la especie

*Pseudotsuga menziesii* obtuvo un 46 % de probabilidad de cambio de categorías, mientras que *Picea mexicana* presentó un 85 % de probabilidad para mantenerse sin cambio; en la población El Coahuilón la especie *Pseudotsuga menziesii* obtuvo un 33 % de probabilidad de cambio de categoría, mientras *Picea mexicana* un 43 % de probabilidad para mantenerse sin cambio, y en la población el Mohinora la especie *Abies durangensis* presentó un 66 % de probabilidad de cambio, mientras *Picea mexicana* un 43 % probabilidad para mantenerse sin cambio de categoría. Respecto al incremento en volumen en la población La Marta la especie *Picea mexicana* presenta un promedio de 3. 4072 m<sup>3</sup> por hectárea por año, en la población El Coahuilón un promedio de 0. 53607 m<sup>3</sup> y la población el Mohinora un promedio de 2. 2598 m<sup>3</sup>, superando a *Pseudotsuga menziesii* que es una especie de rápido crecimiento.

#### 2.4 Crecimiento e incremento de un bosque

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, 1983; 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, 1983).

El crecimiento en los árboles está en función de la calidad del sitio que incluye el clima, el suelo y la topografía del terreno; 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).

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su respectivo desarrollo; de aquí que se habló del desarrollo del árbol en altura y diámetro y del desarrollo en volumen de un árbol o de una masa, al referirnos al crecimiento. A medida que un árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura y volumen). Este crecimiento del árbol en un periodo de tiempo determinado se llama incremento, debiendo diferenciar incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento del árbol en volumen (Klepac, 1983).

#### 2.4.1 Crecimiento en altura

El crecimiento e incremento en altura se manifiesta en la primavera. La duración del aumento en altura puede ser menor debido a un verano seco y frío, pero puede alargarse con un verano húmedo y caluroso, lo que hace posible la formación de brotes, los cuales en algunas especies pueden ser mayores que los brotes de primavera. El crecimiento e incremento en altura en los árboles está menos influenciado por el medio ambiente que en diámetro. Para el incremento en altura es de gran importancia la cantidad de reservas materiales que acumula el árbol durante el último año ya que su aumento total depende de varios factores, entre los cuales se pueden mencionar como los más importantes como genotipo, calidad de estación y medio ambiente (Klepac, 1983). El alargamiento del eje cilíndrico de la rama de un árbol es atribuible a la división y expansión de las células en muchos puntos terminales de crecimiento llamados meristemos apicales (Young, 1991).

En *Picea mexicana* el crecimiento en altura es exponencial en la población de El Mohinora, después de la edad de 100 años el crecimiento aumenta sin llegar a presentar curva de inflexión. En la población de El Coahuilón, la forma de la curva de crecimiento en altura difiere; el crecimiento inicial es rápido, pero después de la edad de 100 años el crecimiento se empieza a estabilizar. A diferencia de la población de La Marta, el crecimiento inicial es rápido, pero aproximadamente después de la edad de 90 años el crecimiento disminuye ligeramente y no llega a presentar curva de inflexión. 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. De acuerdo a la edad máxima encontrada la población de El Mohinora tiene 34 m de altura, seguido por la población de La Marta con 27 m y El Coahuilón con 20 m. La curva del Incremento corriente anual (ICA) en altura de la población de El Mohinora es de forma ascendente y no llega a presentar curva de inflexión; para el IMA presenta forma descendente. En la Población de El Coahuilón, la curva del Incremento medio anual (IMA) tiene forma de campana y se intercepta con la curva del ICA a una cierta edad. En la población de La Marta, las curvas del ICA e IMA presentan forma descendente y no presentan punto de cruce (López-López, 2009).



## 2.4.2 Crecimiento en diámetro

El crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del medio ambiente que el crecimiento e incremento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio. El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento. El ancho de los anillos no es igual a lo largo de todo el fuste. Los anillos de crecimiento son más anchos en la parte superior del fuste inmediatamente abajo de las primeras ramas. Cada árbol produce normalmente un anillo de crecimiento por año; excepcionalmente puede ocurrir que se produzcan varios en un año, estos son los llamados falsos anillos los cuales pueden formarse de varias maneras. Por ejemplo, se puede mencionar la formación de falsos anillos debido a un segundo periodo de floración en uno de crecimiento o después de la defoliación completa. Puede ocurrir que se produzca un crecimiento discontinuo durante el verano, el cual vuelve a ser activo al final del mismo lapso de crecimiento en un otoño templado (Klepac, 1983). El crecimiento en el diámetro de los tallos y las ramas es atribuible a la división y expansión de las células de una capa de cámbium, localizada entre la corteza y la madera (Young, 1991).

En *Picea mexicana* el crecimiento en diámetro normal es exponencial en la población de El Mohinora, después de la edad de 100 años el crecimiento aumenta sin presentar curva de inflexión. Mientras que en la población de El Coahuilón, el crecimiento inicial en diámetro normal es rápido y la curva de crecimiento no llega a estabilizarse. En la población de La Marta, el crecimiento inicial en diámetro normal es rápido, pero aproximadamente después de la edad de 90 años el crecimiento disminuye y no presenta curva de inflexión. Para diámetro normal, las curvas de crecimiento de las poblaciones de El Mohinora y El Coahuilón se interceptan después de la edad de 200 años. 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. De acuerdo a la edad máxima encontrada en diámetro normal las poblaciones de El Mohinora y La Marta son similares con 37 cm. La población de El Coahuilón es la que tiene dimensiones inferiores, en diámetro normal tiene 32 cm. La curva del ICA en diámetro normal de la población de El Mohinora es de forma ascendente y no llega a presentar curva de

inflexión; para el IMA presenta forma descendente sin la forma habitual de campana, pero aun así la curva de incremento se intercepta a la edad de 150 años. En la Población de El Coahuilón, la curva del IMA en diámetro normal tiene forma de campana y se intercepta con la curva del ICA a una cierta edad. En la población de La Marta, las curvas del ICA e IMA para diámetro normal presentan forma de campana y se interceptan a la edad de 60 años aproximadamente (López-López, 2009).

## 2.5 Técnicas de medición del crecimiento

### 2.5.1 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, 1983).

El análisis de la cubierta vegetal puede indicar la capacidad productiva de un bosque. Se presentan dos procedimientos dependiendo al tipo de bosque y la comunidad vegetal. Por tipo de bosque se entiende como el grupo de árboles y otras plantas que 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, 1983).

### 2.5.2 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, 1983).

En el método de taladro de Pressler se barrena el árbol a la altura del pecho (1.30 m) sobre el suelo, se extraen las muestras de madera de forma cilíndrica permitiendo observar y contar los anillos anuales de crecimiento en árboles vivos en pie, se trata de un método no destructivo y puede servir en consecuencia para analizar mayor número de individuos mejorando la exactitud de las estimaciones, y también

estudiar algunos aspectos de la madera del tronco (densidad, color, textura). De cada árbol a ser analizado se pueden extraer una o dos muestras, siendo lo usual retirar dos muestras de cada árbol manteniendo un ángulo de 90° entre los puntos de extracción. Con este método y el conteo minucioso de los anillos, permite una determinación rigurosa de la edad del árbol y a su vez realizar estudios precisos de los incrementos. En zonas templadas, la extracción de virutas en árboles con el barrenado de Pressler ha sido una herramienta ampliamente utilizada para determinar edades y tasas de crecimiento, especialmente en coníferas con maderas blandas (Klepac, 1983; Newton, 2007; Imaña y Encinas, 2008; Gutiérrez y Ricker, 2014).

El método de control, se basa en los libros de registro del volumen del rodal en pie. Si los libros son utilizados correctamente, con seguridad pueden decir la fluctuación del volumen en pie, el incremento en el rodal inventariado, la incorporación de árboles y finalmente la producción forestal (Klepac, 1983; Prodan *et al.*, 1997).

Por medio del método de análisis troncal se puede conocer el crecimiento e incremento del 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, 1983).

## 2.6 Curvas de crecimiento

La altura alcanzada en un punto determinado del tiempo en función de la edad, representada en forma gráfica, produce la curva de desarrollo en altura o la curva de rendimiento. Esta curva de rendimiento tiene forma típica para todos los elementos de árbol y rodal. Se asemeja a una “S” extendida (Prodan *et al.*, 1997).

En tanto, la curva de crecimiento en diámetro del fuste presenta también una 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, 1983).

Mientras, que la curva de crecimiento en volumen tiene la forma de “S”, 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, 1983).

La curva crecimiento del área basal se puede obtener fácilmente del crecimiento e incremento en diámetro. La curva el área basal de la masa en función de la edad presenta también una curva del tipo S, variando dependiendo la especie (Klepac, 1983).

## 2.7 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).

Un modelo es una forma de caracterizar un sistema o parte de un sistema. Es una abstracción y simplificación de un proceso natural que permite su estudio y análisis. Las ecuaciones más utilizadas en especies de coníferas, están la función de Chapman-Richards y sus derivaciones, la función de Schumacher y su derivación que corresponde a la función de Korf, y otros modelos que tienen la propiedad de presentar una forma diferencial (crecimiento) (Prodan *et al.*, 1997).

Los modelos utilizados para la representación del crecimiento en incremento en altura, diámetro normal, área basal y volumen en el género *Picea* en México son variados, existen diferentes trabajos de investigación que involucran los modelos de crecimiento. Para la representación de crecimiento e incremento de las variables altura y diámetro normal algunos modelos que han sido utilizados son Bertalanffy, Chapman-Richards, Cuadrática (I, II, III, IV, y V), Gompertz, Hossfeld IV, Korf, Levakovic (I y II), Logístico, Monomolecular, Schumacher, Sloboda, Vanclay, Weibull y Yoshida I.; de los cuales los que mejor ajustes han presentado son Hossfeld IV, Korf, Logístico, Schumacher, Weibull y Yoshida I (Gómez-López, 2007; López-López, 2009).

## 2.8 Estudios de crecimiento en México

### 2.8.1 Estudios de crecimiento en especies del género *Pinus* en México

Los estudio de crecimiento en el género *Pinus* son abundantes, se hace un resumen de algunos estudios (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estudios de crecimiento en especies del género *Pinus*.

Especie	Descripción y Lugar del Estudio.	Autor
<i>Pinus douglasiana</i> Martínez y <i>P. lawsonii</i> Roehl.	Estudio de crecimiento. Cupatitzio, Uruapan, Michoacán.	Aguilar-Ramírez, 1997.
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Evaluación de crecimiento y productividad. Huayacocotla, Veracruz.	Monroy-Rivera, 1997.
<i>Pinus rudis</i> Endl.	Predicción del crecimiento y rendimiento. Ixtlán, Oaxaca.	De la Fuente <i>et al.</i> , 1998.
<i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry.	Crecimiento e incremento en regeneración. Sur del Estado de Nuevo León.	González-Zárate, 2000.
<i>Pinus teocote</i> Schl.	Crecimiento e incremento en regeneración. Sur de estado de Nuevo León y sureste de Coahuila.	Sosa-Antuna, 2001.
<i>Pinus patula</i> var. <i>longipedunculata</i> , Look ex Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehrenb.	Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas. Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.	Hernández-López, 2003.
<i>Pinus durangensis</i> Martínez, <i>P. Cooperi</i> Blanco, <i>P. leiophylla</i> Schl. et Cham., <i>P. engelmannii</i> Carr y <i>P. herrerae</i> Martínez.	Análisis del crecimiento e incremento de cinco Pináceas Región del Salto, Durango.	Corral y Návar, 2005.
<i>Pinus johannis</i> M. – F. Robert.	Crecimiento en un ensayo de Procedencias. Mesa de las tablas, Arteaga, Coahuila.	Muñoz-Fernández, 2006.
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	Sobrevivencia y crecimiento en altura. Plantaciones del noreste de México.	Benítez-Benítez, 2010.
<i>Pinus patula</i> var. <i>longipedunculata</i> , Look ex Martínez.	Modelos para estimar crecimiento en plantaciones, en respuesta al aclareo. Ixtlán, Oaxaca.	Rodríguez – Ortiz, 2011.
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	Modelo de crecimiento en altura dominante e índice de sitio. Nuevo León, Coahuila y Tamaulipas.	Vargas-Larreta <i>et al.</i> , 2013.

## 2.8.2 Estudios en crecimiento de especies del género *Picea* en México

Para especies del género *Picea*, los estudios son escasos. Sin embargo, ya se han hecho estudios de las tres especies que existen en México. Se hace un resumen de los estudios realizados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Algunos estudios en especies del género *Picea* en México.

Especie	Descripción y Lugar del estudio.	Autor
<i>Picea chihuahuana</i> Martínez.	Ecología y Estructura Poblacional. Estado de Durango y Chihuahua.	Salas y Vega, 1999.
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	Dinámica de crecimiento en diámetro normal y altura de las tres poblaciones naturales. El cerro del Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua.	Flores y Geada, 2006.
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	Crecimiento e incremento en altura, en diámetro normal y en área basal de las tres poblaciones naturales. Los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, Nuevo León.	Gómez-López, 2007.
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	Crecimiento de los arboles en las tres poblaciones naturales. El cerro del Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua.	López-López, 2009.
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	Viabilidad de semillas e indicadores reproductivos El cerro del Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua.	Sierra-Villagrana, 2005.
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	Producción de semillas e Indicadores reproductivos. Los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, Nuevo León.	López-Ramírez, 2007.
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	Variación morfológica y anatómica. El cerro del Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua.	Hernández-Salinas, 2009.
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	Variación morfológica y anatómica. Los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, Nuevo León.	Martínez-Vega, 2009.
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	Diversidad y estructuras de especies leñosas. Los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, Nuevo León.	Villalba-Lugo, 2009.
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	Incremento en Volumen del arbolado a partir de sitios permanentes. El cerro del Coahuilón, Coahuila, Sierra La Marta, Nuevo León y Cerro El Mohinora, Chihuahua.	Chaparro-Gómez, 2014.
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	Comparación de crecimiento e incremento a partir de sitios permanentes. Los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza, Nuevo León.	Hernández-Pachuca, 2014.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez

Las tres poblaciones en estudio de *Picea mexicana* se encuentran distribuidas en la Sierra Madre Occidental (El Mohinora) y en la Sierra Madre Oriental (La Marta y El Coahuilón), dentro de los estados de Nuevo León, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua (Cuadro 5).

Cuadro 5. Localización de las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en los estados de Nuevo León, Coahuila de Zaragoza y Chihuahua.

Población	Propiedad	Municipio	Latitud Norte (N).	Longitud Oeste (W).	Elevación (msnm)
Sierra Marta.	La Propiedad privada Felipe de la peña.	Rayones, Nuevo León.	25° 11.9'	100° 21.8'	3500
Sierra Coahuilón.	El Ejido Nuncio.	Arteaga, Coahuila.	25° 14.8'	100° 21.2'	3470
Cerro Mohinora.	El Ejido El Tule y Portugal.	Guadalupe y Calvo, Chihuahua.	25° 57.7'	107° 02.4'	3185

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

La población de La Marta pertenece al municipio de Rayones, Nuevo León (Figura 1), 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 la Alazanas, Arteaga, Coahuila (Figura 2). Mientras que la población del Cerro El Mohinora se encuentra a 27 km al suroeste del Municipio de Guadalupe y Calvo, Chihuahua, México (Figura 3) (López-López, 2009).

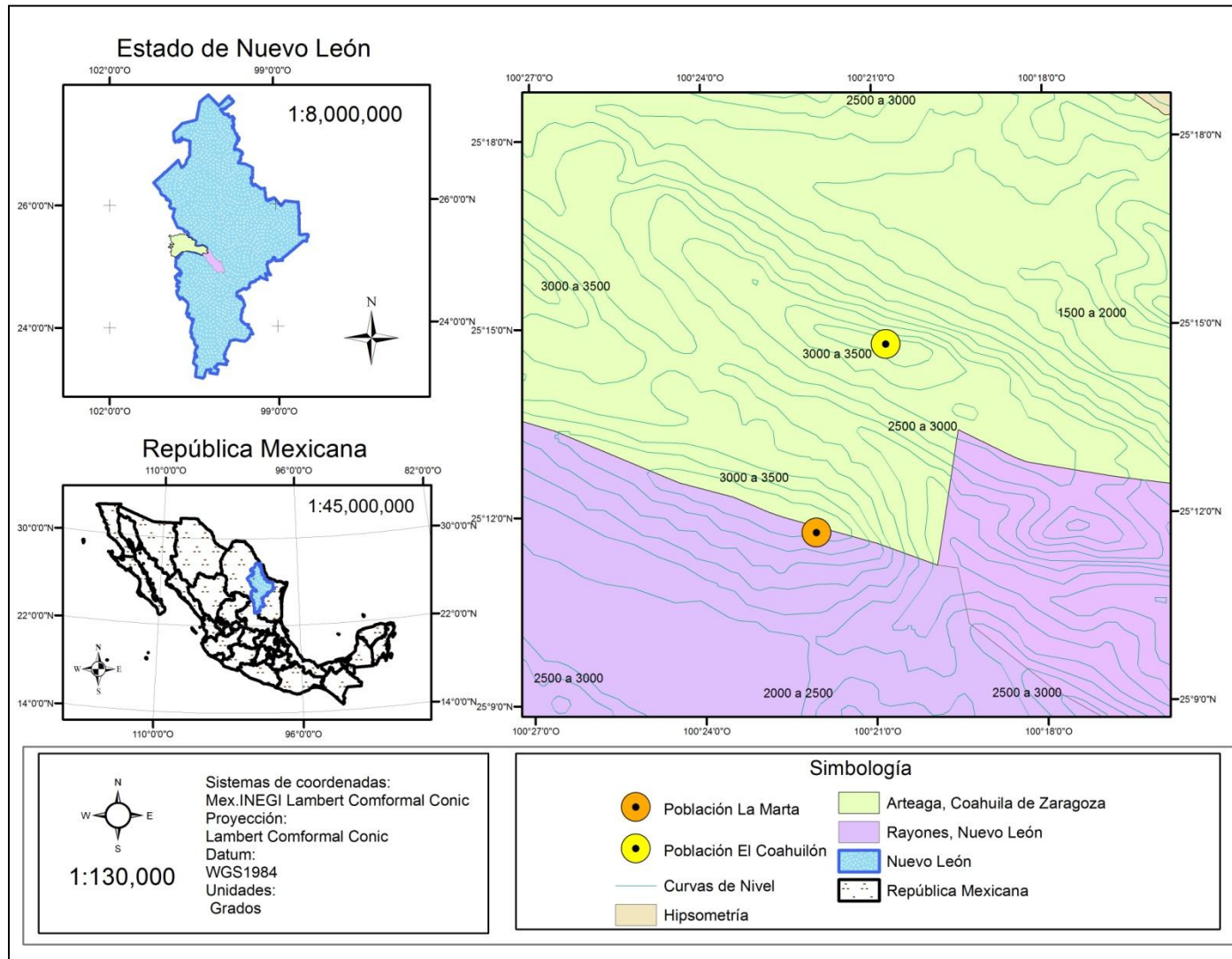


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de *Picea mexicana* Martínez en el estado de Nuevo León.



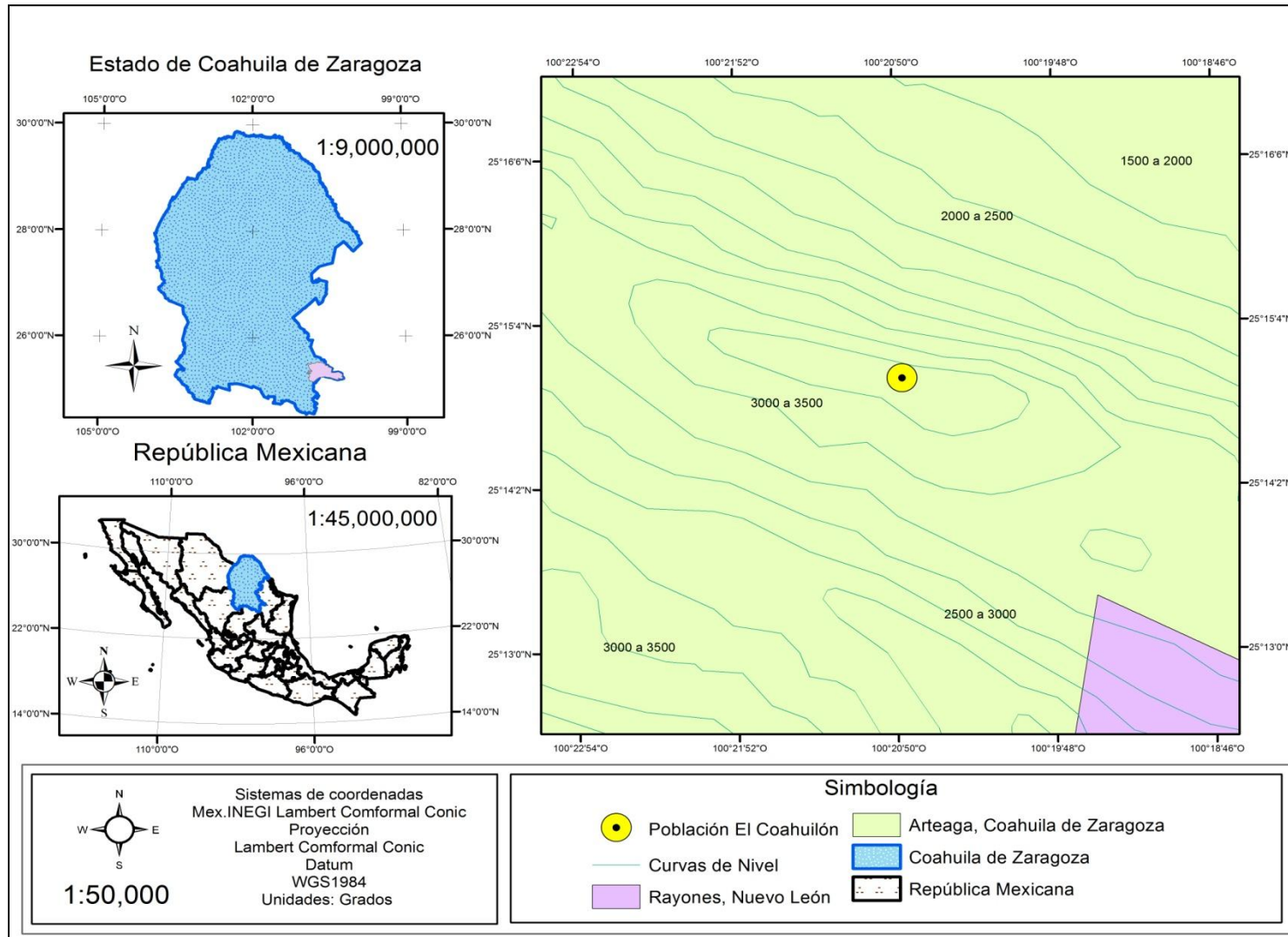


Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de *Picea mexicana* Martínez en el estado de Coahuila de Zaragoza.

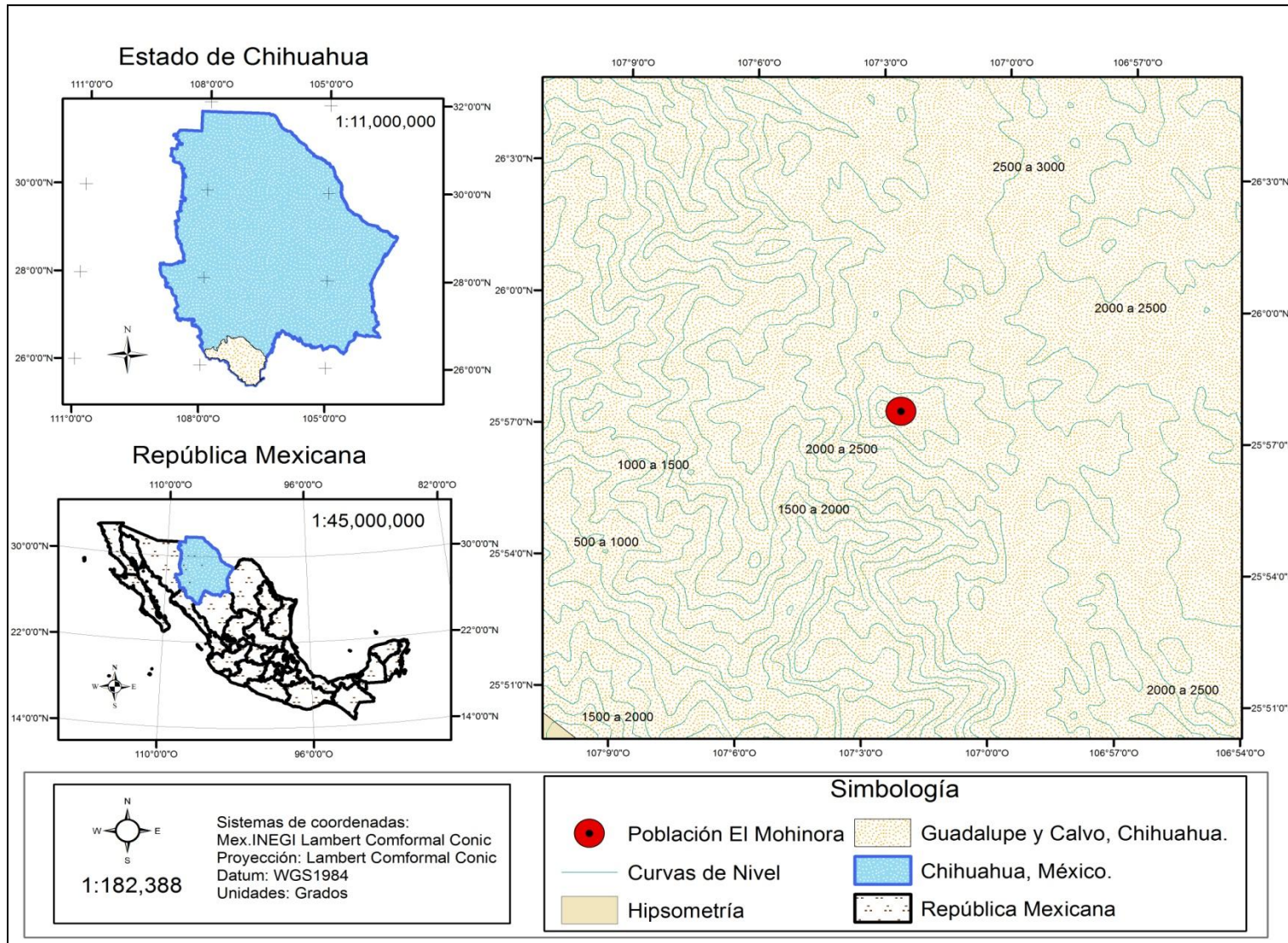


Figura 3. Ubicación geográfica de los sitios permanentes en la población de *Picea mexicana* Martínez en el estado de Chihuahua.  
Fuente: INEGI et al., 1990; CONABIO, 1998; 2005; INEGI, 2012.

### 3.2 Sistema de muestreo

Los datos fueron obtenidos de sitios permanentes que fueron establecidos con anterioridad. En 1987 fueron establecidos dos sitios permanentes, que están localizados en la población de La Marta. Debido a que en las localidades de *Picea mexicana* la distribución de la vegetación no se encuentra de manera uniforme, se consideró levantar la información de campo en forma dirigida, para contar con información representativa de la variación presente en cada población. Los datos fueron obtenidos de árboles maduros, jóvenes y de la regeneración de árboles individuales y de sitios permanentes de muestreo. 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 m<sup>2</sup> (Capó-Arteaga *et al.*, 1998; López-López, 2009; Hernández-Salinas, 2009).

### 3.3 Variables dasométricas evaluadas en campo

Las variables dasométricas que se midieron de cada árbol muestreado fueron la altura total en metros (Ht), el diámetro normal (Dn) en centímetros y la edad en años, que fue estimada 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. 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, 1983).

Con la misma metodología y fecha de López-López (2009) se obtuvieron los datos de *Picea mexicana*, así como la vegetación asociada, obteniendo observaciones como la especie, número de individuos, tamaño de cada individuo, condición fitosanitaria. En las evaluaciones que se realizaron se encontraron especies como *Pinus rudis* Endl., *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.), *Abies vejari* Martínez, *Sambucus nigra* L., *Pinus arizonica* Engelm., y *Abies durangensis*

Martínez. Sin embargo, se seleccionaron las siguientes Pináceas por la suficiencia de números de árboles para las poblaciones (Cuadro 6).

Cuadro 6. Especies representativas asociadas con *Picea mexicana* Martínez y número de árboles evaluados donde se obtuvieron virutas para la evaluación del crecimiento.

Especie	Poblaciones			No. de árboles Muestreados.
	La Marta	El Coahuilón	El Mohinora	
<i>Pinus rudis</i> Endl.	06	27	0	33
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	14	0	62	77
<i>Abies vejari</i> Martínez.	21	0	0	21
<i>Abies durangensis</i> Martínez.	0	0	70	70
Total	41	27	132	200

Se evaluaron 41 virutas de la población La Marta, 27 de El Coahuilón y 132 de El Mohinora, con un total de 200 árboles muestreados. En cada muestra se tomaron datos de altura y diámetro normal de los árboles para el análisis de crecimiento. Algunas Pináceas no se evaluaron, debido a que tenían poca presencia en los sitios permanentes, y no eran suficientes para evaluarlos, además, durante la evaluación también se encontraron árboles secos y muertos.

### 3.4 Evaluación de virutas de crecimiento

Para la obtención de la edad de cada árbol muestreado, las virutas se acondicionaron. 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

podriciones en el centro o secciones de ramas presentes que hacían difícil el conteo de anillos (López-López, 2009).

Con la finalidad de lograr la visibilidad y medición correcta de los anillos de crecimiento se usó un estereoscopio, una lámpara y un vernier digital. Con hojas de formato, se cuantificó el número total de anillos, realizando la evaluación en el Departamento Forestal, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### 3.5 Modelos de crecimiento y ajustes

El análisis de las variables de diámetro normal y altura, se realizó utilizando cuatro diferentes modelos de crecimiento, determinados por presentar un buen ajuste para estas variables en trabajos relacionados (Cuadro 7). Las variables dasométricas diámetro (cm) y altura (m) en relación con la edad, fueron analizadas en el programa Sigma Plot® versión 10.0 y el programa estadístico SAS® versión 9.0 con la metodología PROC-NLIN siendo esta una regresión no lineal.

Obteniendo del programa los estadísticos y coeficientes de regresión para la selección del mejor modelo ajustado a cada variable tomando en cuenta los estadísticos:  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$ , CME y F-Calculada, el mejor modelo debe de presentar valores altos de  $R^2$ ,  $R^2_{adj}$  y un valor bajo de CME. Para el cálculo de algunos estadísticos que no determina el programa se utilizaron las fórmulas siguientes:

$$\text{Cálculo de } R^2: 1 - \frac{SS(\text{residual})}{SS(\text{corrected total})} \quad \text{Cálculo de } R^2_{adj}: 1 - \frac{MS(\text{residual})}{MS(\text{corrected total})}$$

Donde SS: Suma de cuadrados, MS: Cuadrado medio.

Cuadro 7. Modelos de crecimiento utilizados para estimar diámetro y altura.

Nombre Del Modelo	Ecuación
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$
Chapman – Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$

Y=altura-Diámetro; E=edad;  $\beta$ =parámetros. Fuente: Corral y Navar, 2005; Sit y Poulin-Costello, 1994; Hernández-Ramos, 2012.

### 3.6 Modelos de crecimiento para *Picea mexicana*

Los modelos que utilizó López-López (2009) para evaluar crecimiento en *Picea mexicana* fueron Bertalanffy, Chapman-Richards, Monomolecular, Logístico Gompertz, Schumacher, Weibull, Levakovic I, Levakovic II, korf, Sloboda, Hossfeld IV, Yoshida I. Sin embargo, los modelos que presentaron mejor ajustes se pueden observar a continuación para las variables de altura y diámetro normal (Cuadro 8).

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

Variable	Población	Modelo seleccionado.	$R^2$	$R^2_{aj}$	CME
Altura	El Mohinora	Logístico $y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.2576	0.2510	40.0771
	El Coahuilón	Weibull $y = a/(1 + ce^{-bt})$	0.6909	0.6837	12.6641
	La Marta	Bertalanffy $y = a(1 - e^{-bt})^3$	0.5782	0.5745	14.5892
Diámetro normal	El Mohinora	Korf $y = ae^{-bt^c}$	0.3808	0.3718	47.2641
	El Coahuilón	Yoshida I $y = at^d/(b + t^d) + c$	0.6327	0.6284	43.3679
	La Marta	Sloboda $y = ae^{-be^{-ct^d}}$	0.5877	0.5877	22.4942

Donde:  $y$ = variable determinada (altura, diámetro);  $a, b, c, d$  = parámetros de regresión;  $t$ = edad;  $e$ = base logaritmos naturales.  $R^2$ = Coeficiente de determinación;  $R^2_{aj}$ = Coeficiente de determinación ajustado; CME= Cuadrado medio de error.

Fuente: López-López, 2009.

### 3.7 Comparación de curvas con crecimiento e incremento medio anual máximo

El valor del incremento o crecimiento medio anual (IMA) expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. Expresa por tanto la media anual del crecimiento para cualquier edad. El IMA es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad a partir del tiempo cero (Imaña y Encinas, 2008).

Para éste trabajo se fijó una edad de 30 años, para obtener el valor del incremento medio anual (IMA), con el fin de obtener los valores en los puntos más

altos de la curva, donde los árboles se mantienen en crecimiento aún y no se encuentran en la parte final de la curva, donde el incremento disminuye.

Para el cálculo del IMA, se utilizaron los valores predichos calculados con el modelo que mejor ajuste presentó para las variables diámetro y altura, para cada una de las especies presentes en las poblaciones de *Picea mexicana* Martínez. La fórmula que se utilizó fue la misma para todas las variables analizadas, se muestra a continuación (Imaña y Encinas, 2008).

$$\text{IMA} = \frac{Y \text{ (estimados)}}{\text{Edad}}$$

Donde:

IMA = incremento medio anual.

Edad = edad a partir del tiempo cero.

Y = dimensión de la variable considerada.

Para el cálculo del ICA, al igual que para el cálculo del IMA, se utilizaron los valores predichos calculados con el modelo que mejor ajuste presentó para diámetro y altura, para cada variable se eligió el mejor modelo ajustado a los pares de datos y con este se obtuvieron los valores predichos en Excel 2010, donde se sustituyeron los valores de los coeficientes de regresión en la fórmula de cada modelo elegido, también se calculó el ICA para cada variable con los valores ajustados, utilizando la fórmula común que se muestra a continuación (Imaña y Encinas, 2008).

$$\text{ICA} = \frac{y_2 - y_1}{E_2 - E_1}$$

Dónde:

$y_1$  = Valor dasométrico anterior o primera medición.

$y_2$  = Valor dasométrico superior o segunda medición.

$E_1$  = Edad anterior o de la primera medición.

$E_2$  = Edad superior o de la segunda medición.

Los crecimientos e incrementos medios anuales se compararon tomando como referencia una edad base de 30 años, para los valores obtenidos a dicha edad se realizó una comparación de medias de las especies asociadas, con las medias de *Picea mexicana* Mtz., de las tres poblaciones naturales obtenidas por López-López (2009). Para la comparación de las medias se utilizó Excel 2010, Minitab® versión 16 y Sigma Plot ® versión 10.

La comparación de medias se realizó con una prueba de t de muestras independientes con varianzas desiguales cuya fórmula es:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

Donde  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$  y  $S^2$  se obtienen,

$$\bar{x}_1 = \frac{\sum x_{1i}}{n_1}, \quad \bar{x}_2 = \frac{\sum x_{2i}}{n_2} \quad \text{y} \quad S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$S^2$  es la varianza combinada de  $S_1^2$  y  $S_2^2$ :

$$S_1^2 = \frac{\sum x_{1i}^2 - \frac{(\sum x_{1i})^2}{n_1}}{n_1 - 1} \quad \text{y} \quad S_2^2 = \frac{\sum x_{2i}^2 - \frac{(\sum x_{2i})^2}{n_2}}{n_2 - 1}$$

Donde:

$\bar{x}_1$ : Media primer muestra.

$\bar{x}_2$ : Media segunda muestra.

$S^2$  : Varianza combinada de  $S_1^2$  y  $S_2^2$ .

$S_1^2$  : Varianza primer muestra.

$S_2^2$  Varianza segunda muestra (Jayaraman, 1999).



## 4 RESULTADOS

### 4.1 Población El Coahuilón de Arteaga, Coahuila de Zaragoza

#### 4.1.1 Crecimiento e incremento en diámetro normal de *Pinus rudis* Endl

Del conjunto de datos obtenidos por análisis de crecimiento en virutas de 27 árboles de la especie *Pinus rudis* Endl., el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el de Chapman-Richards (Figura 4a), al presentar los mejores valores estadísticos como es una  $R^2_{Adj} = 0.8252$  y un CME = 54.5635, seguido por el modelo de Weibull con una  $R^2_{Adj} = 0.8245$  y un CME = 54.7569, presentaron muy poca diferencia en los resultados de cada modelo.

Los otros dos modelos de Korf y Schumacher presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Chapman-Richards y Weibull, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 1.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal. En este caso, la curva solamente presenta un punto de inflexión y no tiene punto de culminación, continúa un ritmo de crecimiento similar en todas las edades.

De acuerdo al modelo seleccionado para la variable diámetro normal, hay un periodo hasta los 50 años con un rápido crecimiento, posteriormente el crecimiento disminuye ligeramente sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 320 años (Figura 4a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro normal de *Pinus rudis* Endl. en la población de El Coahuilón, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; presentando su máximo crecimiento a la edad de cinco años, sin aún presentar el cruce a la edad de 320 años, obteniendo a los 30 años un incremento medio anual de 0.5912 cm (Figura 4b).

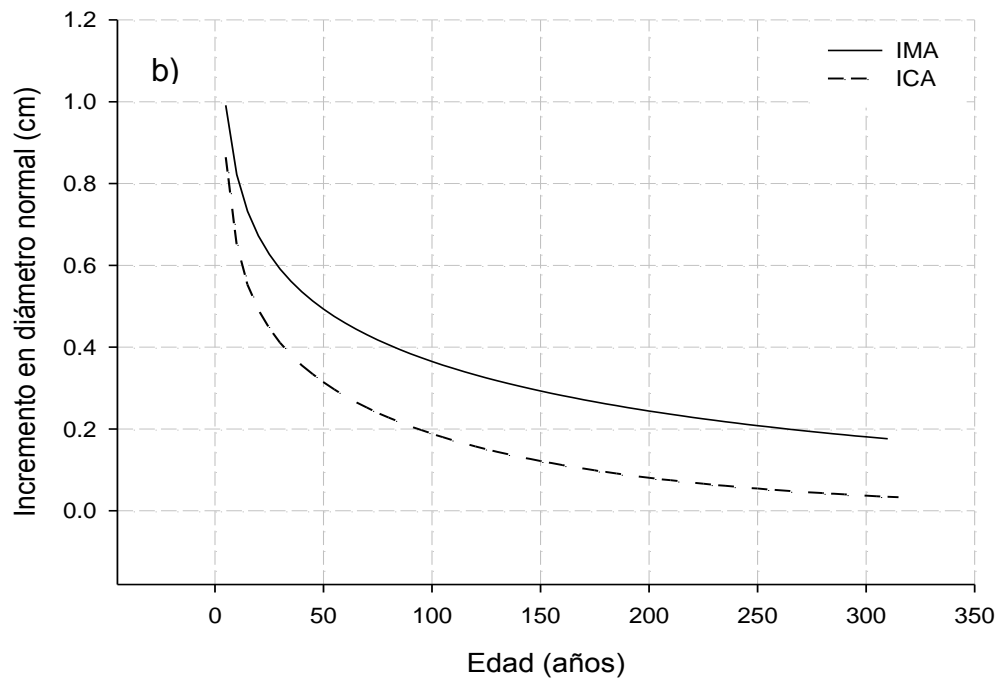
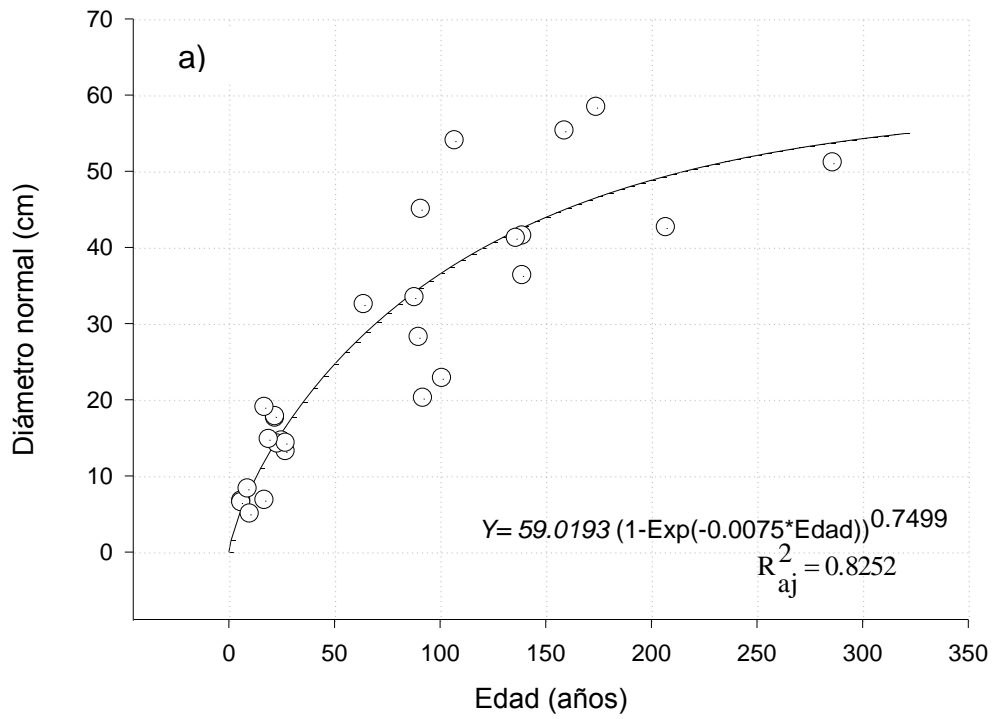


Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos de *Pinus rudis* Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población el Coahuilón, de Arteaga, Coahuila de Zaragoza.

#### 4.1.2 Crecimiento e incremento en altura de *Pinus rudis* Endl

En relación a los datos de altura tomados con la pistola Haga en 27 árboles de *Pinus rudis* Endl, el mejor modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Chapman-Richards (Figura 5a), con un valor de  $R^2_{Adj} = 0.7284$  y  $CME = 11.7360$ .

Presentando muy poca diferencia entre los demás modelos que obtuvieron ajustes adecuados (Apéndice 2), en segundo lugar está el modelo de Weibull con  $R^2_{Adj} = 0.7276$  y  $CME = 11.7716$ , como se observa los valores son parecidos, esto indica que ambos modelos probados pueden ser utilizados en la estimación de predichos.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que en la variable diámetro. En este caso, también la curva solamente presenta un punto de inflexión y no tiene punto de culminación, se observa un crecimiento constante.

De acuerdo al modelo seleccionado (Chapman-Richards), para la variable altura, hay un periodo hasta los 40 años con un rápido crecimiento, posteriormente el crecimiento disminuye ligeramente llegando a presentar punto de inflexión a la edad de 100 años, que a su vez la curva continúa con un crecimiento en disminución (Figura 5a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable altura de *Pinus rudis* Endl., en la población de El Coahuilón, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; su máximo crecimiento lo refleja a la edad de cinco años, y continua en disminución, presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.2530 cm, sin aún presentar el cruce a la edad de 320 años (Figura 5b).

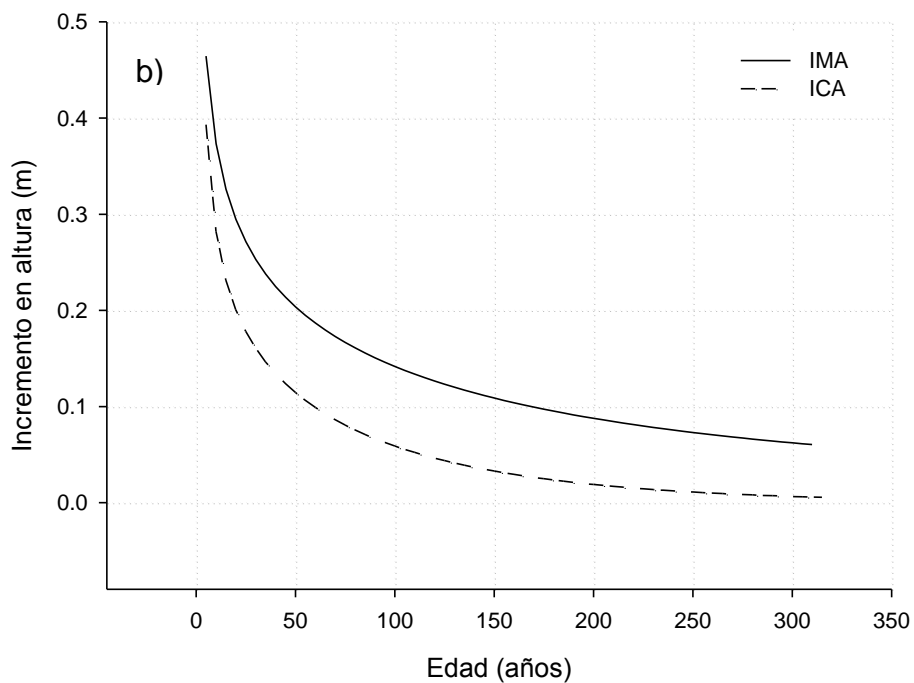
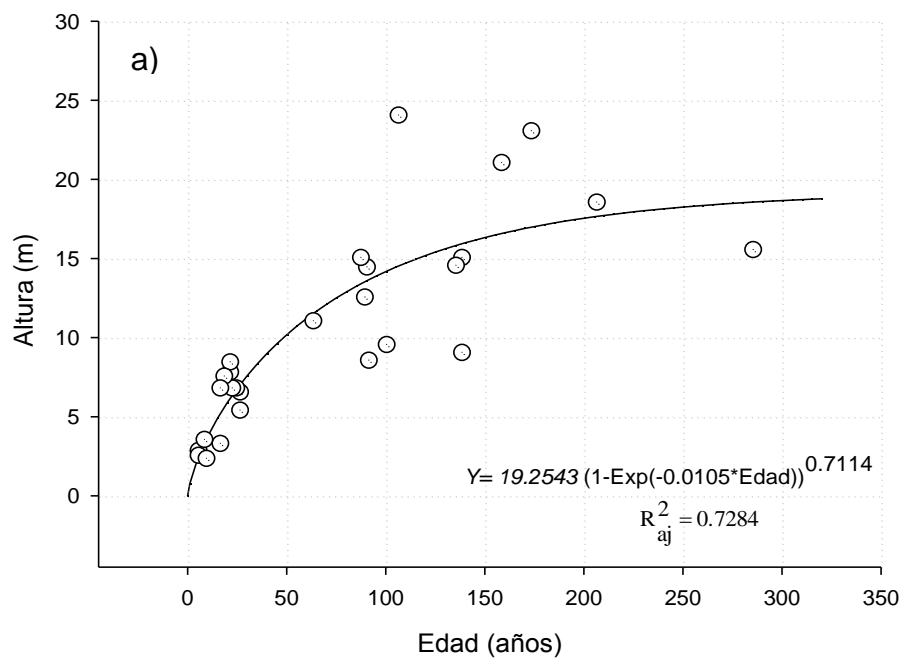


Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos de *Pinus rudis* Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población el Coahuilón, de Arteaga, Coahuila de Zaragoza.

## 4.2 Población La Marta de Rayones, Nuevo León

### 4.2.1 Crecimiento e incremento en diámetro normal de *Abies vejari* Martínez

En la especie *Abies vejari* Martínez según el conjunto de datos obtenidos por análisis de virutas de 21 árboles el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el de Weibull (Figura 6a), al presentar los mejores valores estadísticos como es una  $R^2_{Adj} = 0.5663$  y un CME = 116.5, seguido por el modelo de Schumacher con una  $R^2_{Adj} = 0.5626$  y un CME = 117.5, presentaron muy poca diferencia en los resultados de cada modelo.

Los otros dos modelos de Chapman-Richards y Korf presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Weibull y Schumacher, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 3.

La curva de crecimiento ajustada en esta especie presenta la forma habitual de “S” sigmoideal. En este caso, la curva presenta dos puntos de inflexión. De acuerdo al modelo seleccionado (Weibull) para la variable diámetro normal, hay un periodo hasta los 40 años con un rápido crecimiento, posteriormente el crecimiento disminuye ligeramente llegando a presentar punto de inflexión a la edad de 60 años que continúa con un crecimiento bajo en la curva, sin embargo, en los años 105 a 150 el crecimiento es muy poco, casi presentando un crecimiento nulo (Figura 6a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro de *Abies vejari* en la población de La Marta, adquieren la forma habitual de campana, donde existe un punto de cruce a la edad de 31 años, posteriormente las dos curvas descienden (Figura 6b). Sin embargo, en los primeros años de edad el incremento es muy acelerado en esta especie, y llega a su punto máximo de IMA e ICA a los 27 y 20 años respectivamente. A la edad de 30 años presenta un incremento medio anual de 0.7550 cm.

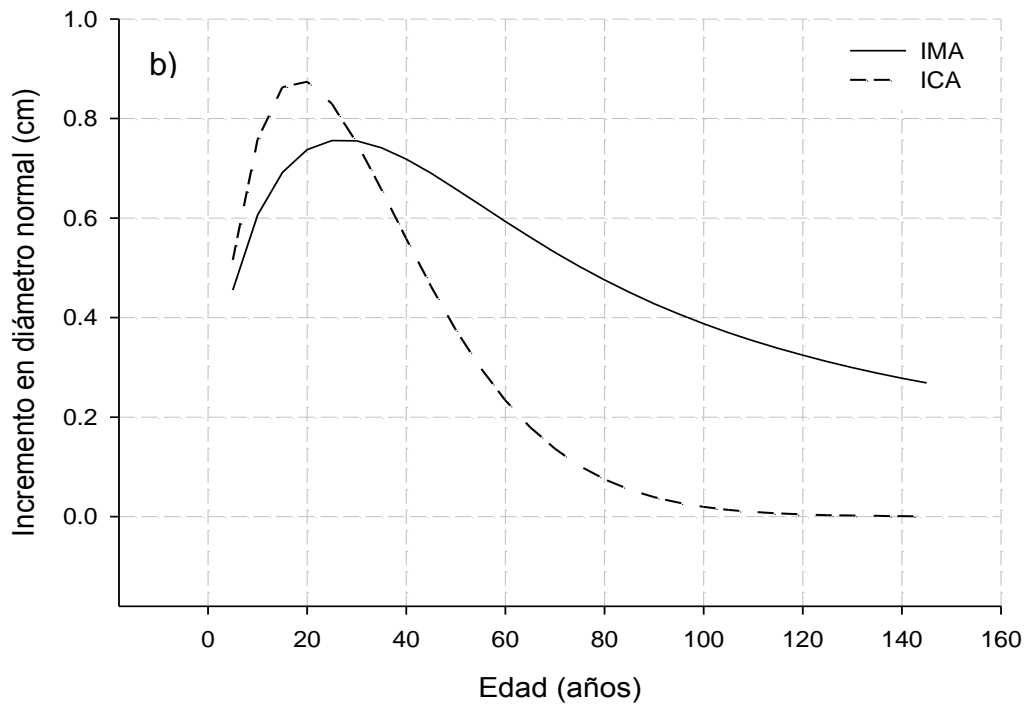
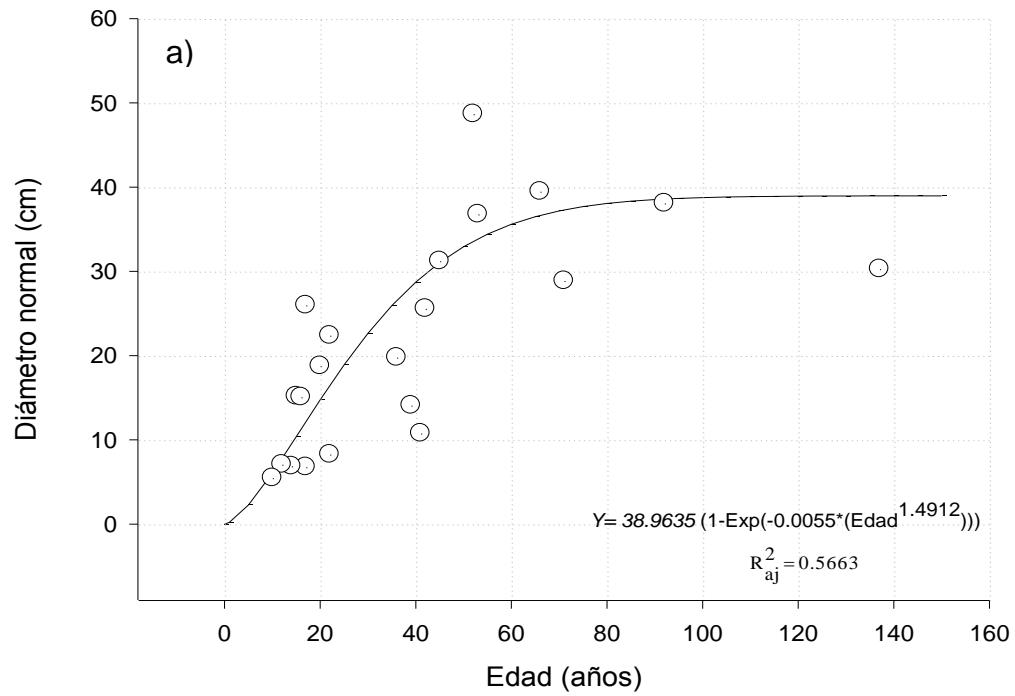


Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos de *Abies vejari* Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León.

#### 4.2.2 Crecimiento e incremento en altura de *Abies vejari* Martínez

En relación a los datos de altura tomados con la pistola Haga en 21 árboles de la especie *Abies vejari* Martínez, el mejor modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Schumacher (Figura 7a), con un valor de  $R^2_{Adj} = 0.6599$  y  $CME = 16.2475$ .

Presentando muy poca diferencia entre los demás modelos que obtuvieron ajustes adecuados (Apéndice 4), en segundo lugar está el modelo de Chapman-Richards con  $R^2_{Adj} = 0.6460$  y  $CME = 16.9095$ , como se observa los valores son parecidos, esto indica que todos los modelos probados pueden ser utilizados en la estimación de predichos con fines prácticos.

La curva de crecimiento ajustada presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que la variable diámetro normal. En este caso, la curva presenta dos puntos de inflexión. De acuerdo al modelo seleccionado para la variable diámetro normal, hay un periodo hasta los 20 años con un rápido crecimiento, posteriormente el crecimiento disminuye ligeramente llegando a presentar punto de inflexión a la edad de 40 años, sin embargo, la curva sigue en forma ascendente pero el crecimiento disminuye (Figura 7a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA), de la variable altura de *Abies vejari* en la población de La Marta, adquieren la forma habitual de campana, donde se observa un punto de cruce a la edad de 18 años aproximadamente, posteriormente las dos curvas descienden (Figura 7b).

En los primeros años de edad el incremento es muy acelerado en esta especie, y llega a su punto máximo incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) a los 17 y 11 años respectivamente. Presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.4694 cm.

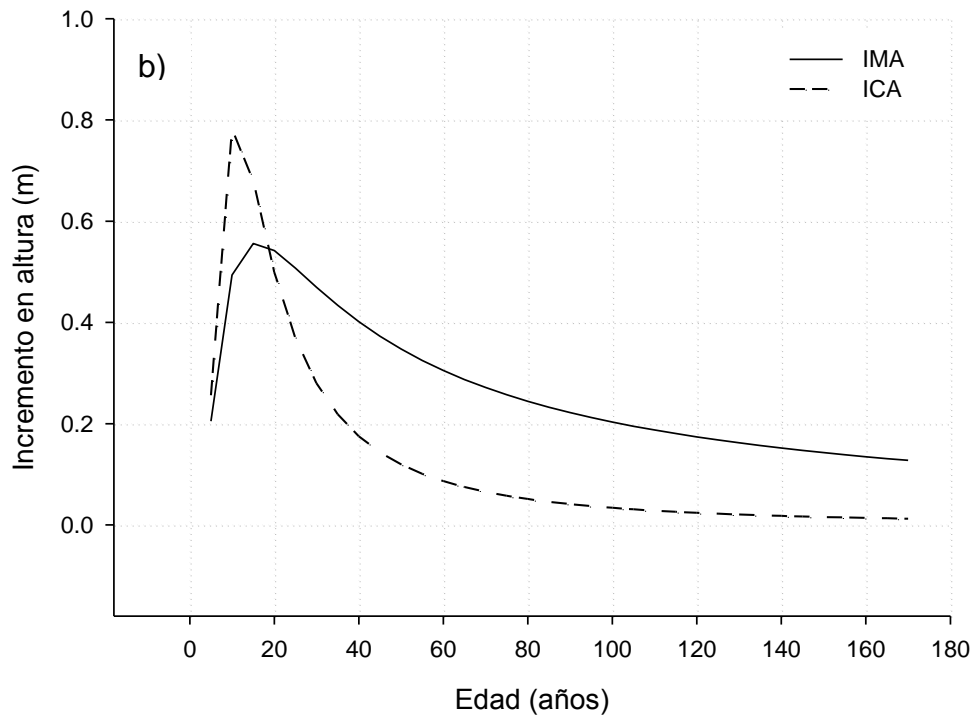
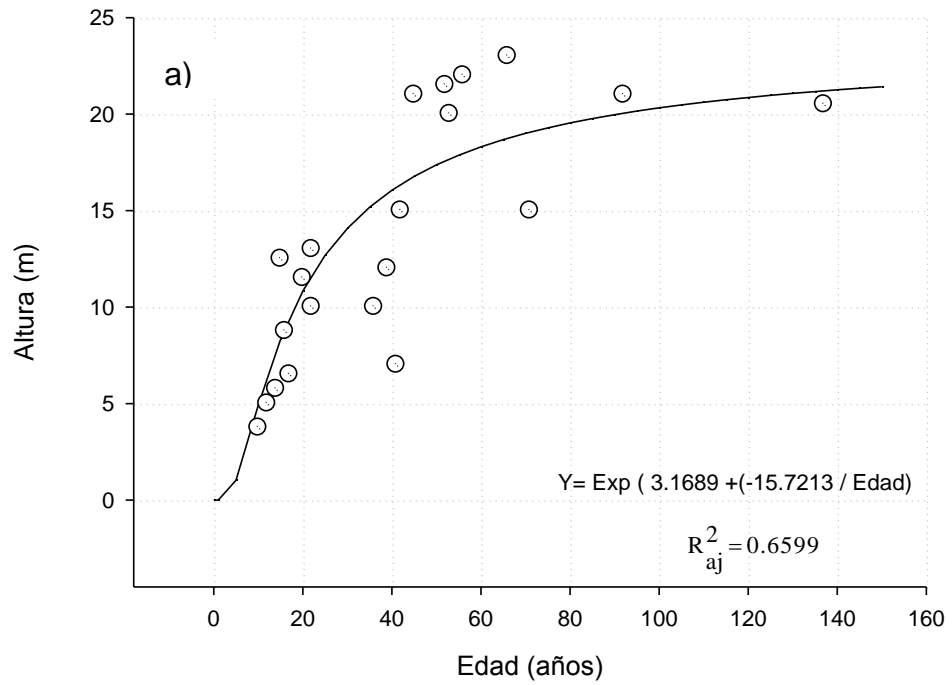


Figura 7. Diagrama de dispersión de los datos de *Abies vejari* Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León.



#### 4.2.3 Crecimiento e incremento en diámetro normal de *Pinus rudis* Endl

En la especie *Pinus rudis* Endl., con la evaluación de virutas de seis árboles el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el modelo de Korf (Figura 8a), al presentar los mejores valores estadísticos, en este se obtuvo como resultado una  $R^2_{Adj} = 0.9264$  y un CME = 18.6944, seguido por el modelo de Schumacher con una  $R^2_{Adj} = 0.8880$  y un CME = 28.4457, presentaron poca diferencia en los resultados de cada modelo. Los otros dos modelos de Chapman-Richards y Weibull presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Korf y Schumacher, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 5.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoidal. En este caso, la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, continúa un ritmo de crecimiento ascendente similar en todas las edades.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable diámetro normal, hay un crecimiento similar en todas las edades sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 170 años (Figura 8a). Quizá esto se deba, a la minoría de datos presentes.

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro normal de *Pinus rudis* Endl., en la población de La Marta, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; presentando su máximo incremento a las edades de cinco a siete años para ICA e IMA, Obteniendo a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.4680 cm. sin presentar el cruce a la edad de 170 años (Figura 8b).

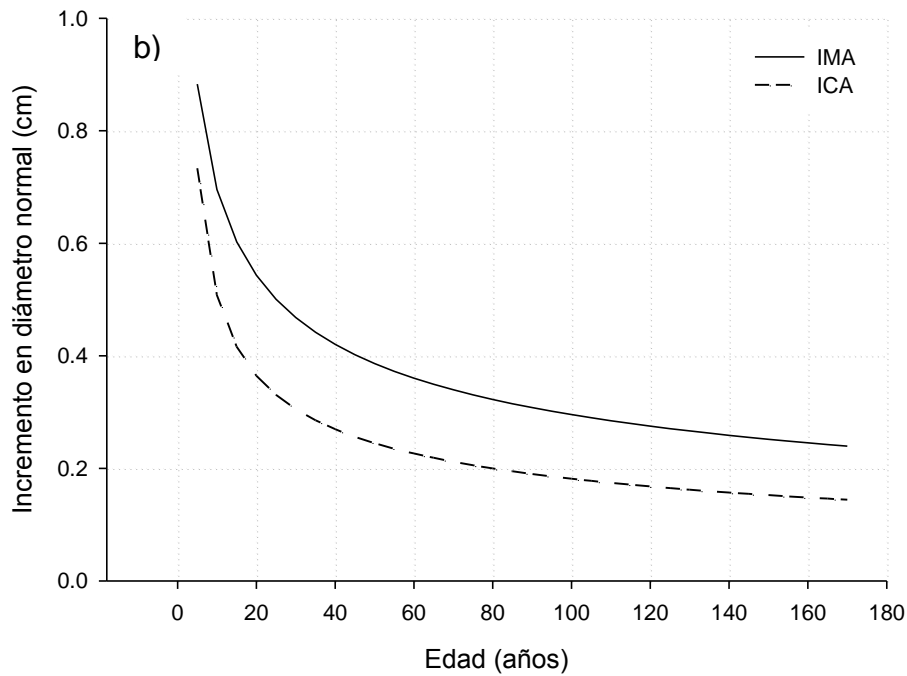
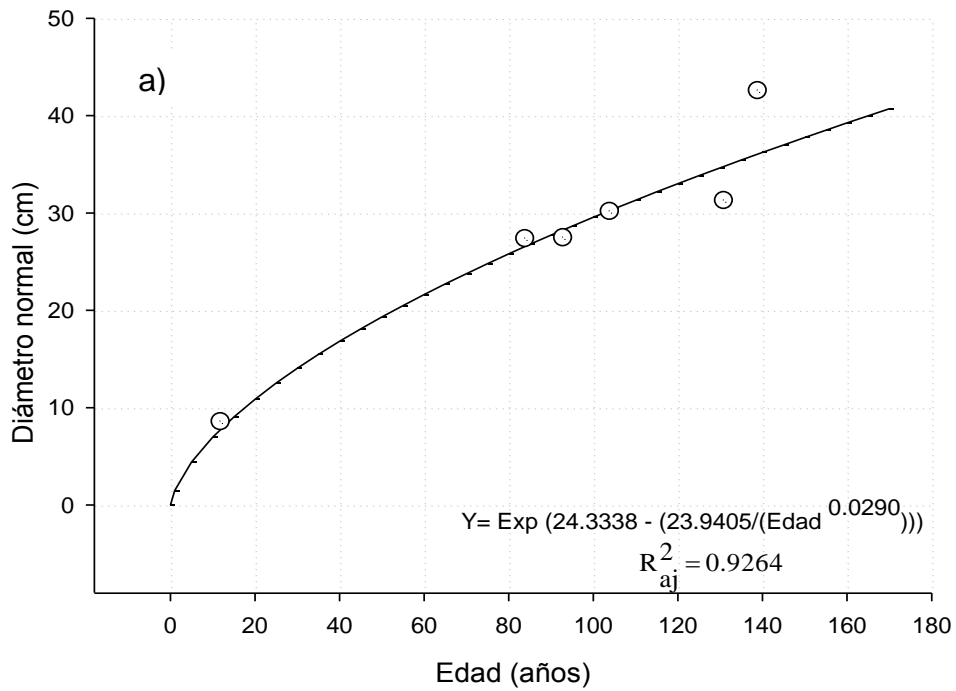


Figura 8. Diagrama de dispersión de los datos de *Pinus rudis* Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León.

#### 4.2.4 Crecimiento e incremento en altura de *Pinus rudis* Endl

En relación a los datos de altura tomados con la pistola Haga en seis árboles de *Pinus rudis* Endl., el mejor modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Korf (Figura 9a), con un valor de  $R^2_{Adj} = 0.8833$  y  $CME = 9.2768$ .

Presentando poca diferencia entre los demás modelos que obtuvieron ajustes adecuados (Apéndice 6), en segundo lugar está el modelo de Schumacher con  $R^2_{Adj} = 0.8133$  y  $CME = 14.8493$ , como se observa los valores se encuentran un poco alejados, esto indica que el modelo Korf, fue el modelo que mejor se ajustó a los datos.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que en la variable diámetro. En este caso, también la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, la curva se torna ascendente con un crecimiento constante.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable altura, hay un crecimiento similar en todas las edades sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 170 años (Figura 9a). Quizá esto se deba, a la minoría de datos presentes.

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable altura de *Pinus rudis* Endl., en la población de La Marta, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; su máximo incremento lo refleja a las edades de cinco a siete años, y continua en disminución, presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.2248 cm, sin aún presentar el cruce a la edad de 170 años (Figura 9b).

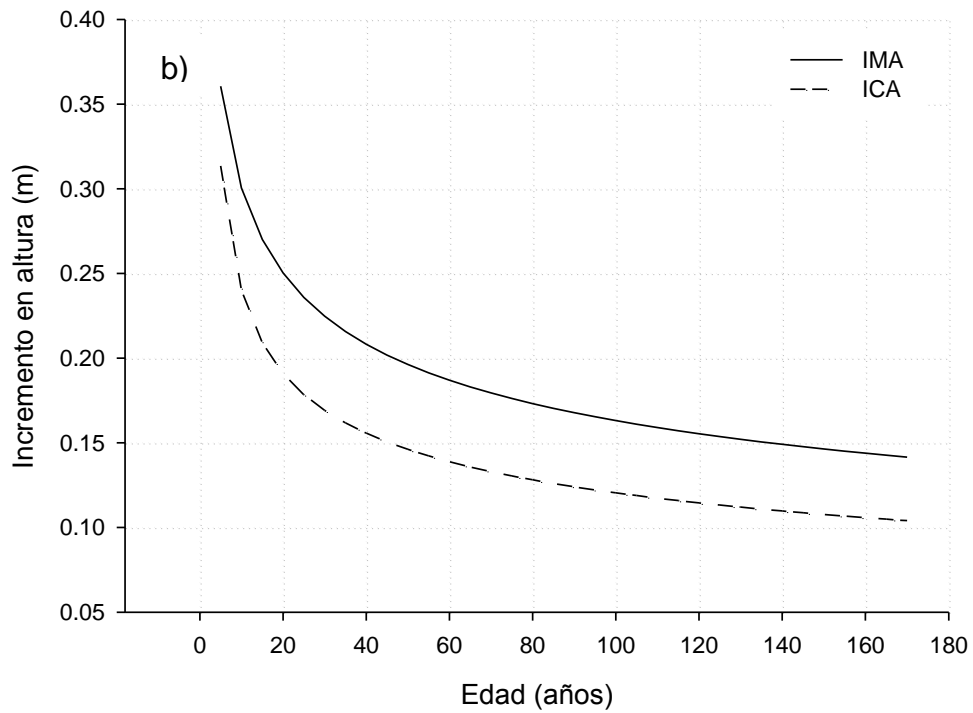
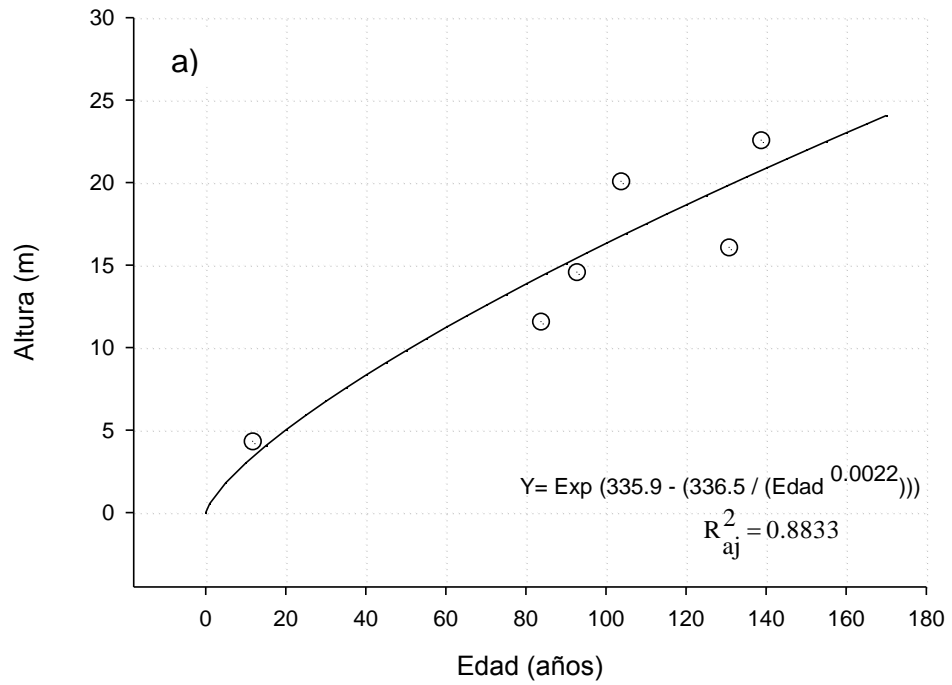


Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos de *Pinus rudis* Endl., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León.

#### 4.2.5 Crecimiento e incremento en diámetro de *Pseudotsuga menziesii* Mirb

En la especie *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con el conjunto de datos obtenidos por análisis de virutas de 14 árboles, el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el de Korf (Figura 10a), al presentar los mejores valores estadísticos como es una  $R^2_{Adj} = 0.4714$  y un CME = 74.475, seguido por el modelo de Schumacher con una  $R^2_{Adj} = 0.4660$  y un CME = 75.2344, presentaron poca diferencia en los resultados de cada modelo.

Los otros dos modelos de Chapman-Richards y Weibull presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Korf y Schumacher, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 7.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal. En este caso, la curva solamente presenta un punto de inflexión y no tiene punto de culminación, continúa un ritmo de crecimiento ascendente similar en todas las edades.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable diámetro normal, hay un rápido crecimiento a la edad de 10 años, sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 170 años (Figura 10a). Quizá se debe a la relación tan con contrastantes de diámetros pequeños con edad mayor, así como también la no existencia de algunas categorías diamétricas.

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro normal de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población de La Marta, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; presentando su máximo incremento a las edades de cinco a siete años para ICA e IMA, Obteniendo a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.6126 cm, sin presentar el cruce a la edad de 180 años (Figura 10b).

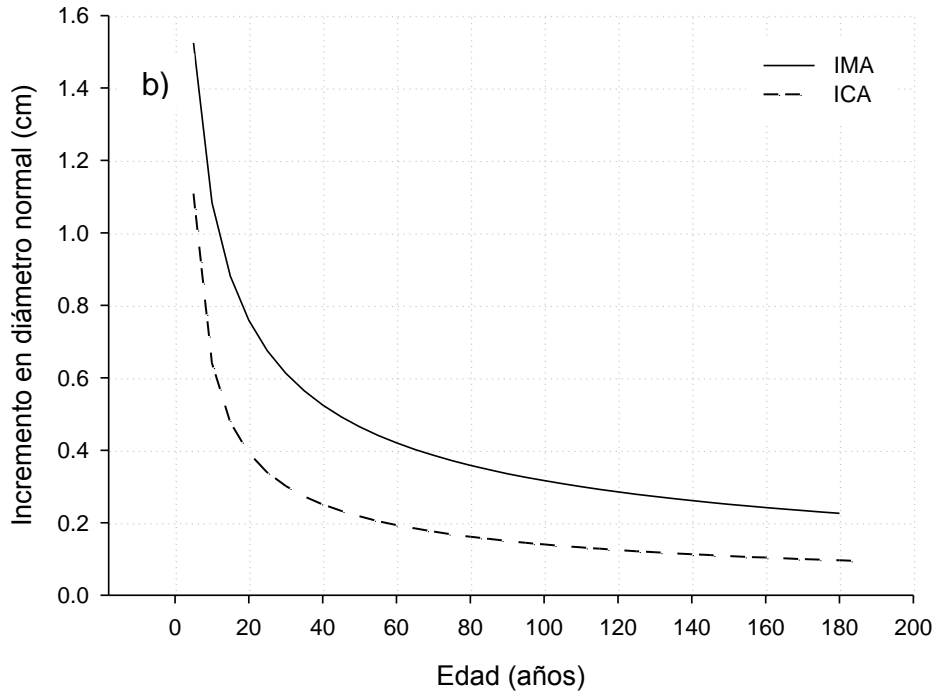
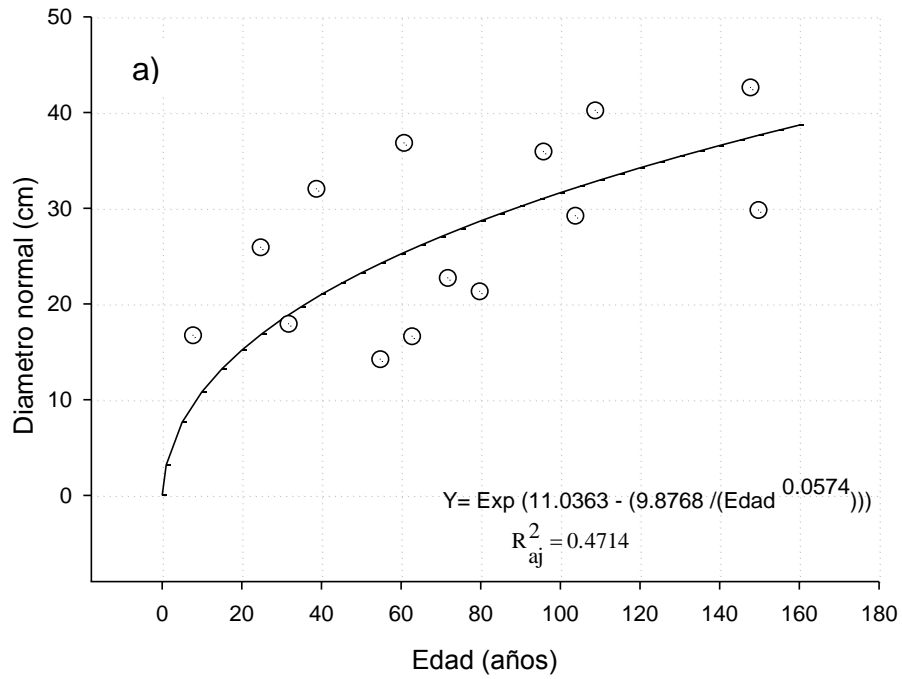


Figura 10. Diagrama de dispersión de los datos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población La Marta de Rayones, Nuevo León.

#### 4.2.6 Crecimiento e incremento en altura de *Pseudotsuga menziesii* Mirb

De acuerdo a los datos de altura de 14 árboles de la especie *Pseudotsuga menziesii* Mirb obtenidos con las pistola Haga, el mejor modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Korf (Figura 11a), seleccionado por obtener un valor de  $R^2_{Adj} = 0.6442$  y  $CME = 11.3274$ .

Presentando poca diferencia entre los demás modelos que obtuvieron ajustes adecuados (Apéndice 8), en segundo lugar está el modelo de Schumacher con  $R^2_{Adj} = 0.5643$  y  $CME = 13.8716$ , como se observa los valores son parecidos, esto indica que todos los modelos probados pueden ser utilizados en la estimación de predichos con fines prácticos.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que en la variable diámetro. En este caso, también la curva solamente presenta un punto de inflexión muy pronunciada y no tiene punto de culminación, la curva se torna ascendente con un crecimiento constante.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable altura, hay un rápido crecimiento hasta la edad de 10 años, sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 180 años (Figura 11a). Quizá esto se deba a que no existen o faltan en los datos de altura de árboles algunas categorías diamétricas menores.

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable altura de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población de La Marta, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; su máximo incremento lo refleja a las edades de cinco a siete años, y continua en disminución, presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.3842 cm, sin aún presentar el cruce a la edad de 180 años (Figura 11b).

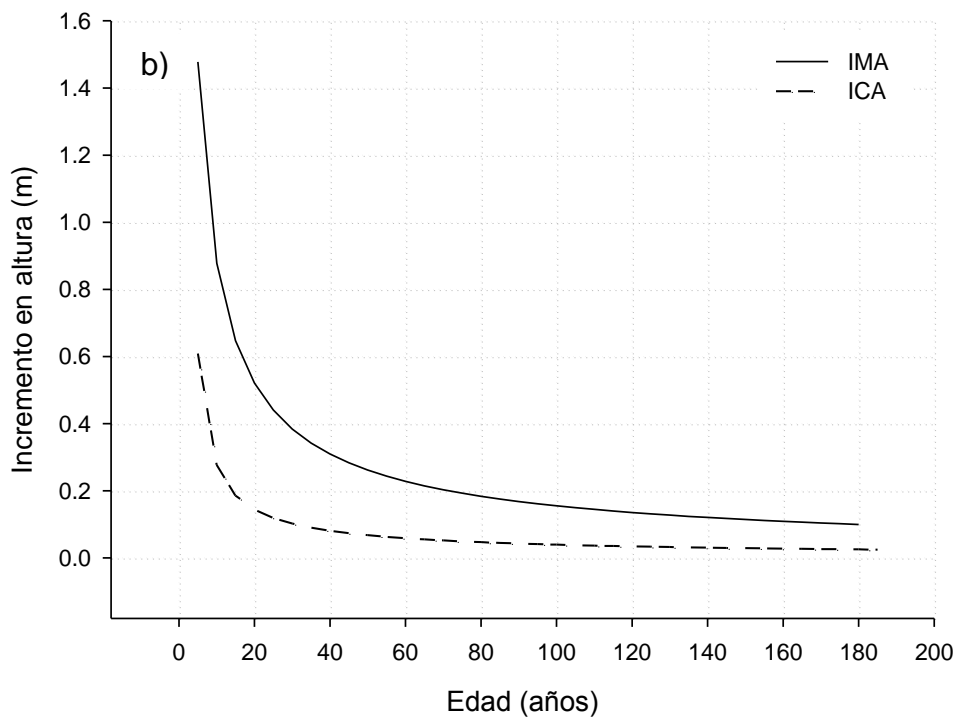
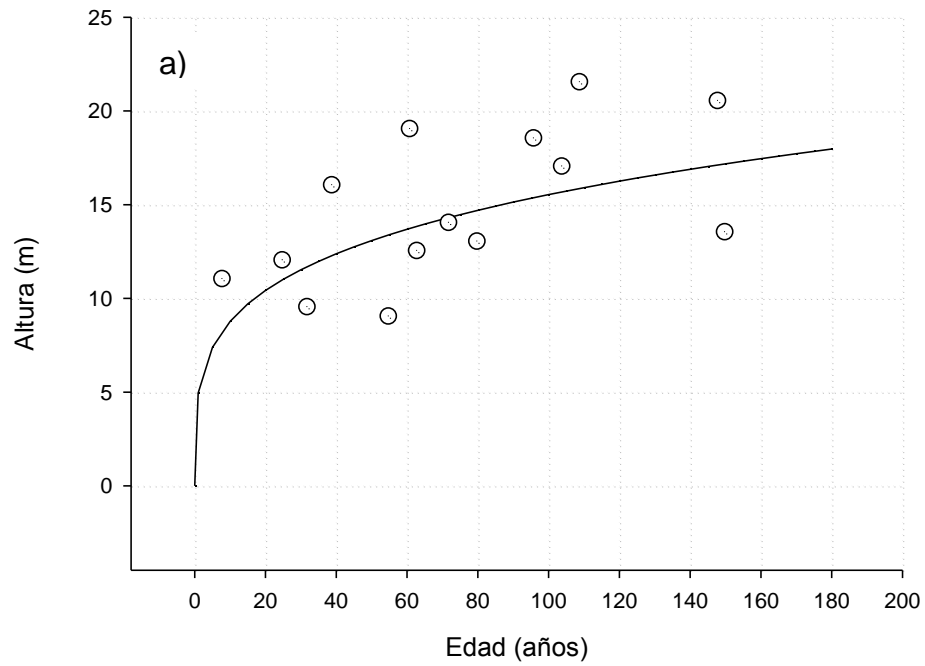


Figura 11. Diagrama de dispersión de los datos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población La Marta de Rayones, Nuevo León.



### 4.3 Población Cerro El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua

#### 4.3.1 Crecimiento e incremento en diámetro normal de *Abies durangensis* Martínez

En la especie *Abies durangensis* Martínez según el conjunto de datos obtenidos por el análisis de crecimiento en virutas de 70 árboles, el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el de Korf (Figura 12a), al presentar los mejores valores estadísticos como es una  $R^2_{Adj} = 0.4430$  y un CME = 133.6, seguido por el modelo de Schumacher con una  $R^2_{Adj} = 0.4001$  y un CME = 143.9, presentaron muy poca diferencia en los resultados de cada modelo.

Los otros dos modelos de Chapman-Richards y Weibull presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Korf y Schumacher, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 9.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal. En este caso, la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, continúa un ritmo de crecimiento ascendente similar en todas las edades. De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable diámetro normal, hay un crecimiento en todas las edades similar, sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 170 años, la curva se ajusta arriba de muchos de los diámetros presentes, debido a que existen dos diámetros arriba de 70 cm (Figura 12a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro normal de *Abies durangensis* Martínez., en la población de El Mohinora, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; presentando su máximo incremento a las edades de cinco a siete años para ICA e IMA, Obteniendo a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.7245 cm (Figura 12b).

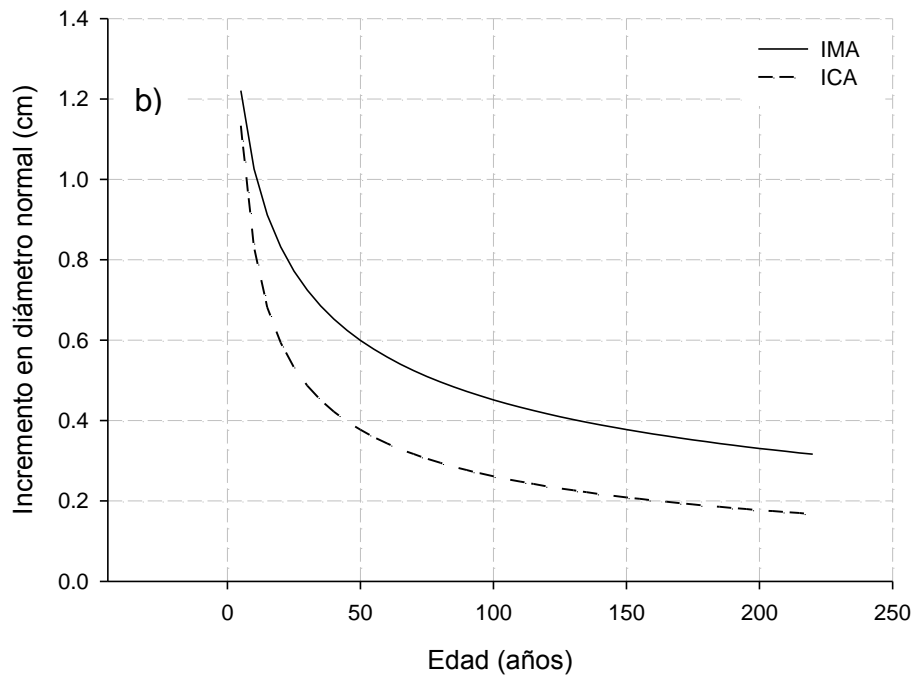
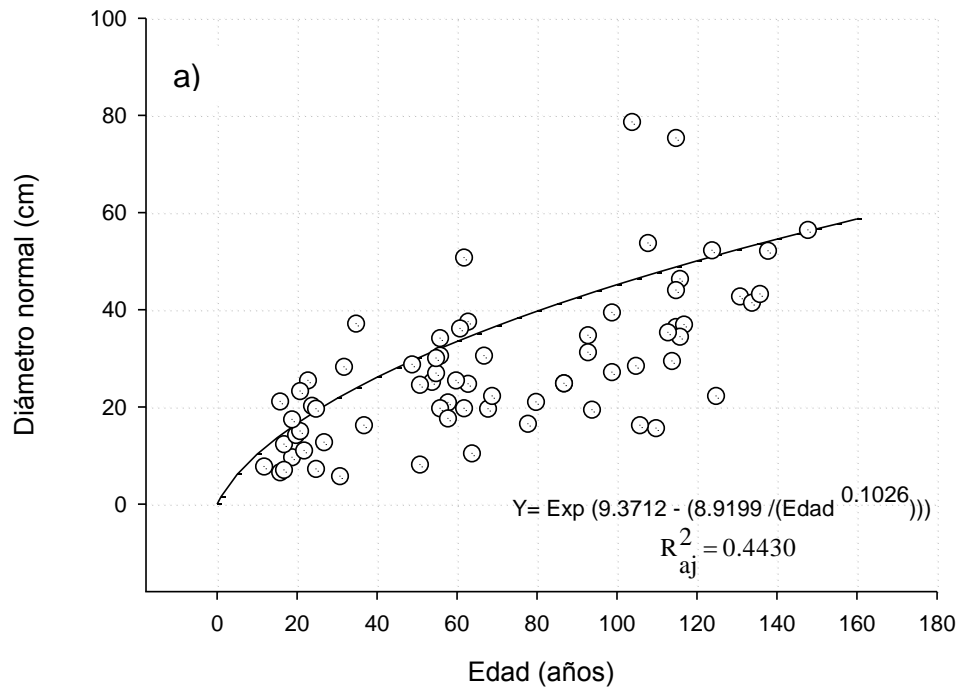


Figura 12. Diagrama de dispersión de los datos de *Abies durangensis* Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.

#### 4.3.2 Crecimiento e incremento en altura de *Abies durangensis* Martínez

En relación a los datos de altura tomados con la pistola Haga en 70 árboles de la especie *Abies durangensis* Martínez, el mejor modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Korf (Figura 13a), con un valor de  $R^2_{Adj} = 0.4928$  y  $CME = 33.3085$ .

Presentando muy poca diferencia entre los demás modelos obtuvieron un ajuste adecuado (Apéndice 10), en segundo lugar está el modelo de Schumacher con  $R^2_{Adj} = 0.4400$  y  $CME = 36.7784$ , como se observa los valores son parecidos, esto indica que todos los modelos probados pueden ser utilizados en la estimación de predichos con fines prácticos.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que en la variable diámetro. En este caso, también la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, la curva se torna ascendente con un crecimiento constante.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable altura, hay un crecimiento similar en todas las edades sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 160 años, la curva se ajusta a las alturas presentes, al contrario de la curva ajustada en diámetro (Figura 13a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable altura de *Abies durangensis* Martínez., en la población de El Mohinora, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; su máximo incremento lo refleja a las edades de cinco a siete años, y continua en disminución, presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.3197 cm, sin aún presentar el cruce a la edad mayor de 200 años (Figura 13b).

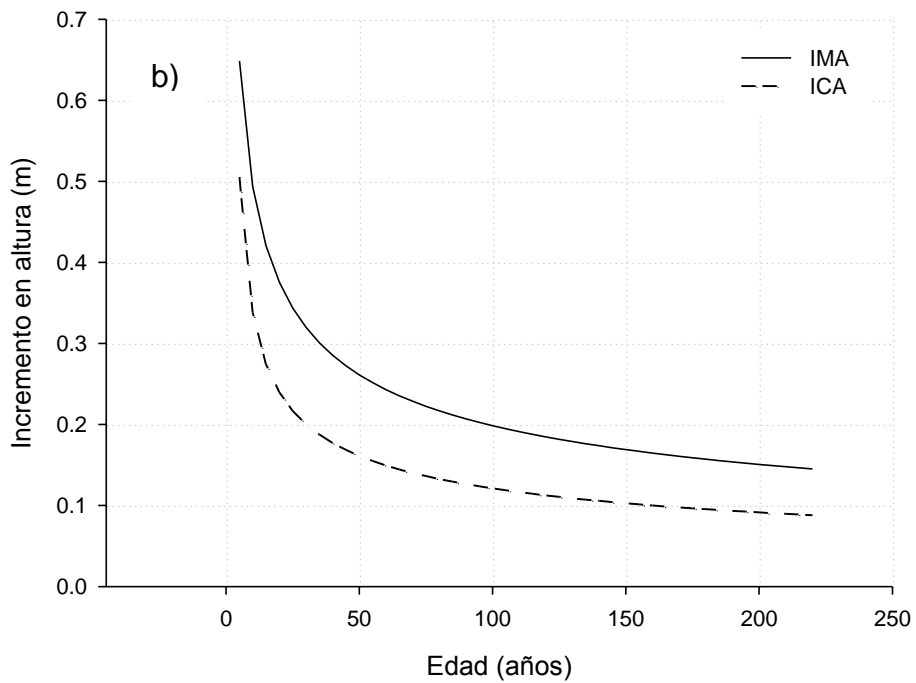
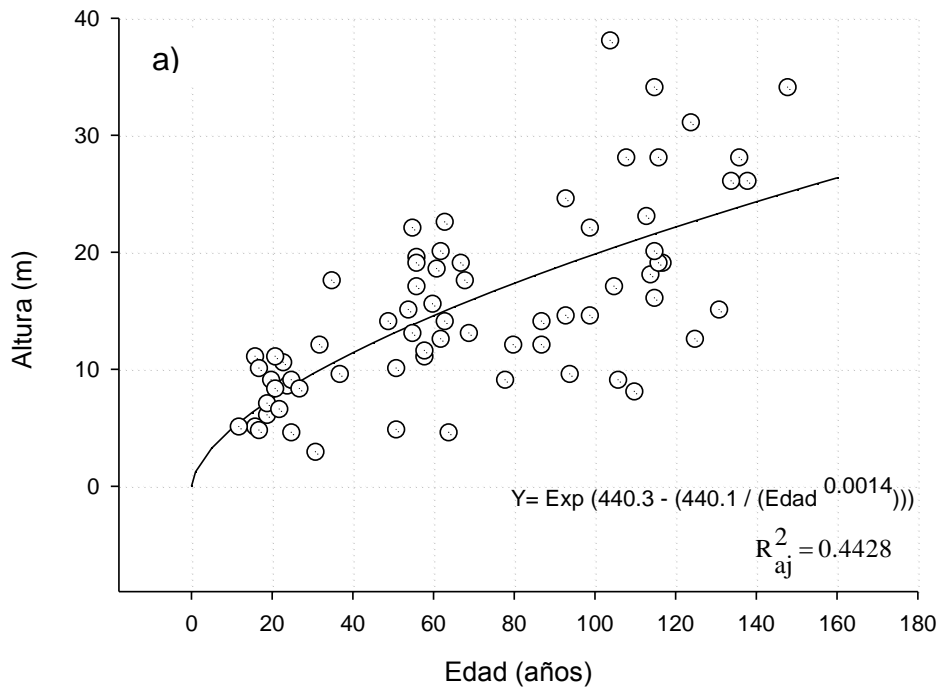


Figura 13. Diagrama de dispersión de los datos de *Abies durangensis* Martínez, con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.

#### 4.3.3 Crecimiento e incremento en diámetro normal de *Pseudotsuga menziesii* Mirb

En la especie *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con el conjunto de datos obtenidos por análisis de virutas de 62 árboles el modelo de crecimiento que mejor se ajustó fue el de Korf (Figura 14a), al presentar los mejores valores estadísticos como es una  $R^2_{Adj} = 0.6905$  y un CME = 136.0, seguido por el modelo de Weibull con una  $R^2_{Adj} = 0.6861$  y un CME = 137.9, presentaron muy poca diferencia en los resultados de cada modelo.

Los otros dos modelos de Chapman-Richards y Schumacher presentaron un ajuste adecuado y parecido a los modelos de Korf y Weibull, pero con valores menores de  $R^2_{Adj}$  o mayores en caso del CME, esto se puede corroborar en el Apéndice 11.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal. En este caso, la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, continúa un ritmo de crecimiento ascendente similar en todas las edades.

De acuerdo al modelo seleccionado (Korf) para la variable diámetro normal la curva se ajusta al diagrama de dispersión de los datos, representa un crecimiento similar en todas las edades sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 250 años (Figura 14a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) de la variable diámetro normal de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población de El Mohinora, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; presentando su máximo incremento a las edades de cinco a siete años para ICA e IMA, Obteniendo a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.7981 cm. sin presentar el cruce a la edad de 250 años (Figura 14b).

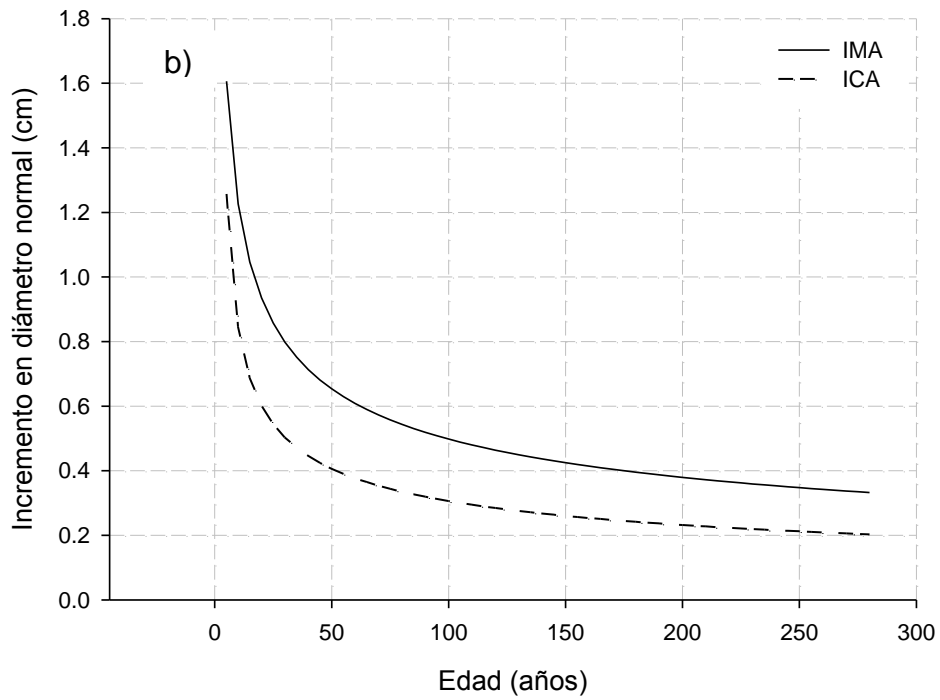
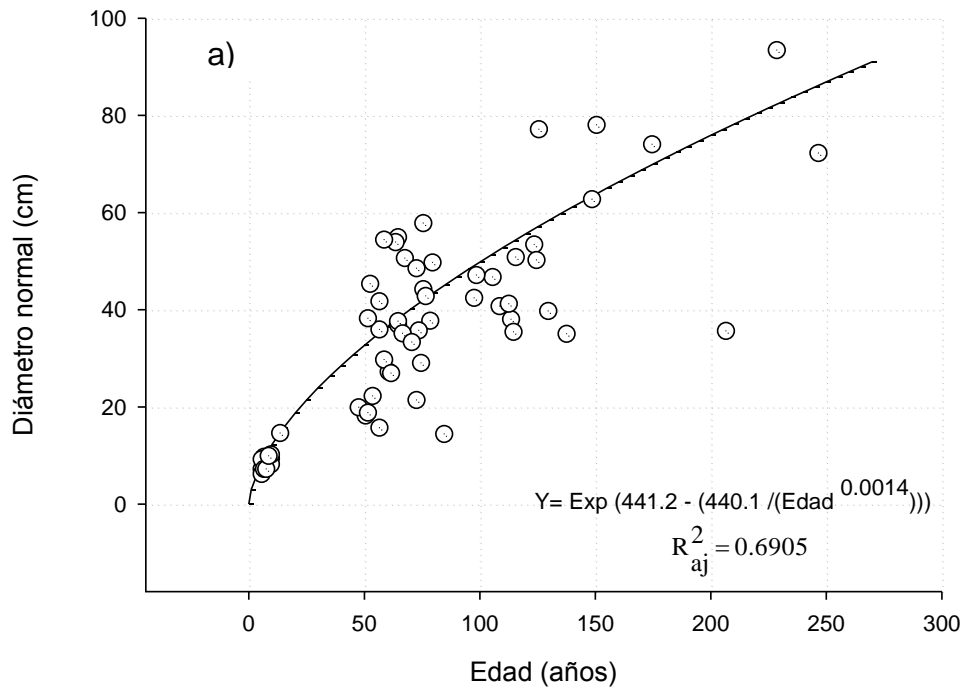


Figura 14. Diagrama de dispersión de los datos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.

#### 4.3.4 Crecimiento e incremento en altura de *Pseudotsuga menziesii* Mirb

En la especie *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la evaluación de la altura de 62 árboles, el modelo que se ajustó a su distribución y el que presentó los mejores valores de los parámetros estadísticos fue el modelo de Chapman-Richards (Figura 15a), con un valor de  $R^2_{Adj} = 0.6765$  y  $CME = 27.5729$ .

Presentando muy poca diferencia entre los demás modelos que obtuvieron ajustes adecuados (Apéndice 12), en segundo lugar está el modelo de Weibull con  $R^2_{Adj} = 0.6759$  y  $CME = 27.6225$ , como se observa los valores son parecidos, esto indica que todos los modelos probados pueden ser utilizados en la estimación de predichos con fines prácticos.

La curva de crecimiento ajustada no presenta la forma habitual de “S” sigmoideal, al igual que en la variable diámetro. En este caso, también la curva solamente presenta un ligero punto de inflexión y no tiene punto de culminación, la curva se torna ascendente con un crecimiento constante.

De acuerdo al modelo seleccionado (Chapman-Richards) para la variable altura la curva se ajusta al diagrama de dispersión de los datos, representa un crecimiento similar en todas las edades sin llegar a presentar punto de culminación a la edad de 250 años (Figura 15a).

La tendencia de las curvas del incremento corriente anual (ICA) y del incremento medio anual (IMA) de la variable altura de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población de El Mohinora, es de forma descendente y no llegan a presentar un punto de cruce; su máximo incremento lo refleja a las edades de cinco a siete años, y continua en disminución, presentando a la edad de 30 años un incremento medio anual de 0.3678 cm, sin aún presentar el cruce a la edad de 220 años (Figura 15b).

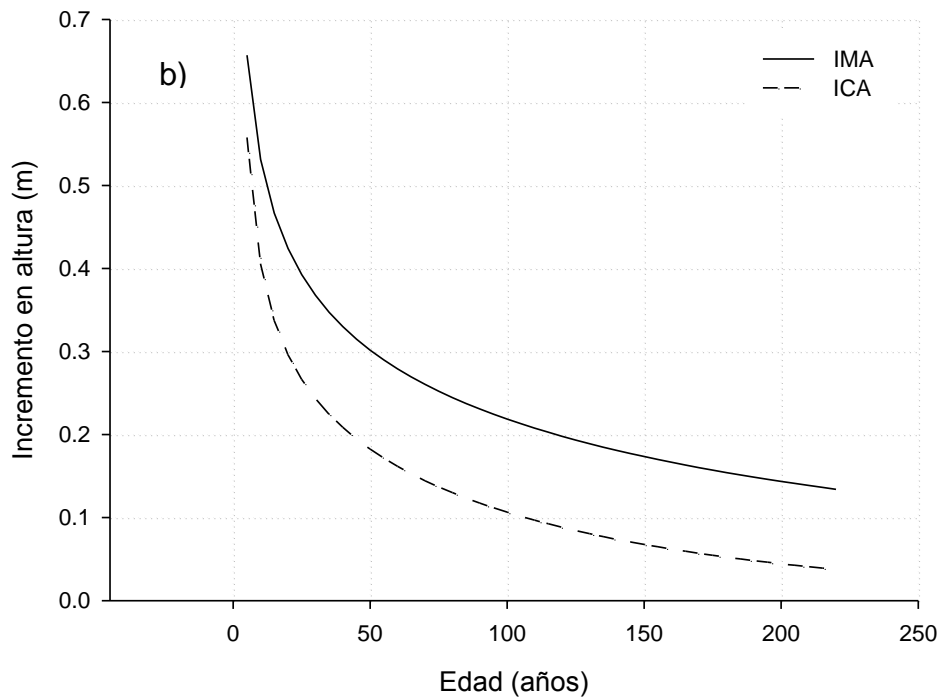
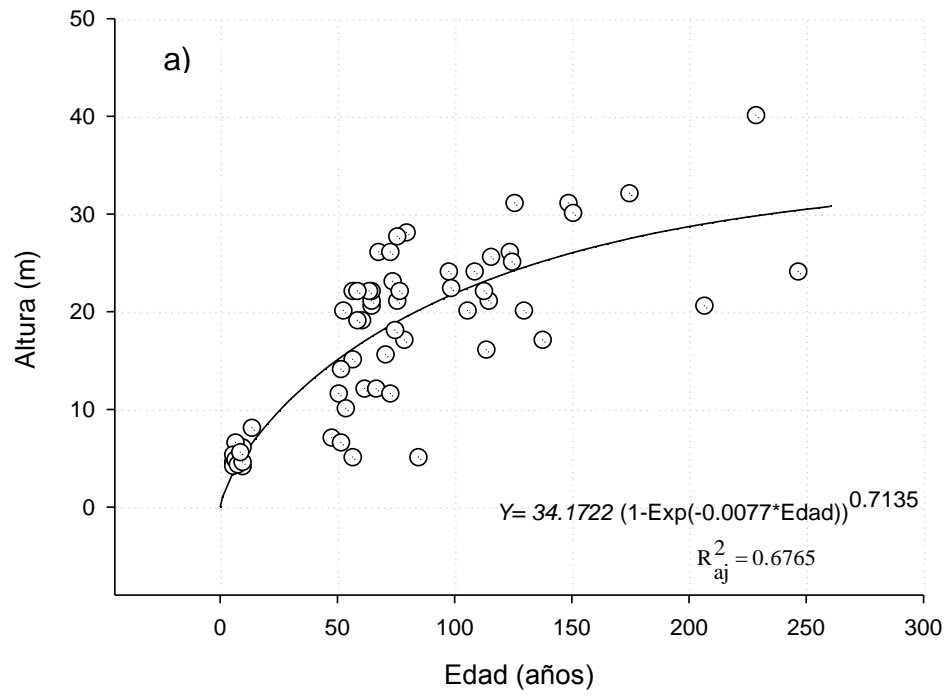


Figura 15. Diagrama de dispersión de los datos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.



#### 4.4 Comparación de curvas de crecimiento

Las curvas en diámetro normal fueron ajustados con diferentes modelos de crecimiento, para el caso de la especie *Pinus rudis* Endl., de la población El Coahuilón se ajustó con el modelo Chapman-Richards, difiere con la especie *Abies vejari* Martínez de la población La Marta que se ajustó con el modelo Weibull, mientras que las especies *Pinus rudis* Endl y *Pseudotsuga menziesii* Mirb de la población La Marta, al igual que *Abies durangensis* Martínez y *Pseudotsuga menziesii* Mirb de población el Mohinora, fueron ajustados con el modelo Korf.

A continuación se compara con la curva ajustada en diámetro normal para la base de datos de las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez donde el modelo Korf es el que tiene mejor ajuste (Figura 16a) (López-López, 2009). Donde se observa que la curva de crecimiento *Picea mexicana* Martínez en diámetro se encuentra por debajo de las demás curvas de las Pináceas asociadas encontradas en los sitios permanentes.

Las curvas en altura fueron ajustados con diferentes modelos de crecimiento, para el caso de la especie *Pinus rudis* Endl de la población El Coahuilón se ajustó con el modelo Chapman-Richards al igual que *Pseudotsuga menziesii* Mirb., de la población el Mohinora, difiere con la especie *Abies vejari* Martínez de la población La Marta que se ajustó con el modelo Schumacher, mientras que las especies *Pinus rudis* Endl. y *Pseudotsuga menziesii* Mirb., de la población La Marta, al igual que *Abies durangensis* Martínez de la población el Mohinora, fueron ajustados con el modelo Korf.

A continuación se compara con la curva ajustada en altura para la base de datos de las tres poblaciones de *Picea mexicana* donde el modelo Schumacher es el que tiene mejor ajuste (Figura 16b) (López-López, 2009). Donde se observa que la curva de crecimiento *Picea mexicana* Martínez en altura se encuentra en la parte media de las demás curvas de las Pináceas asociadas encontradas en los sitios permanentes.

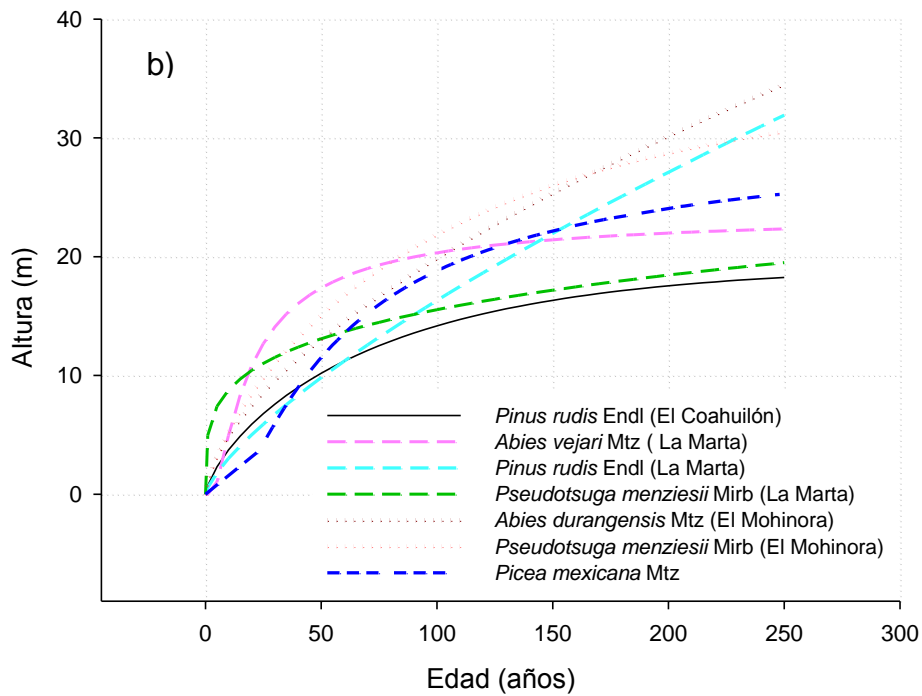
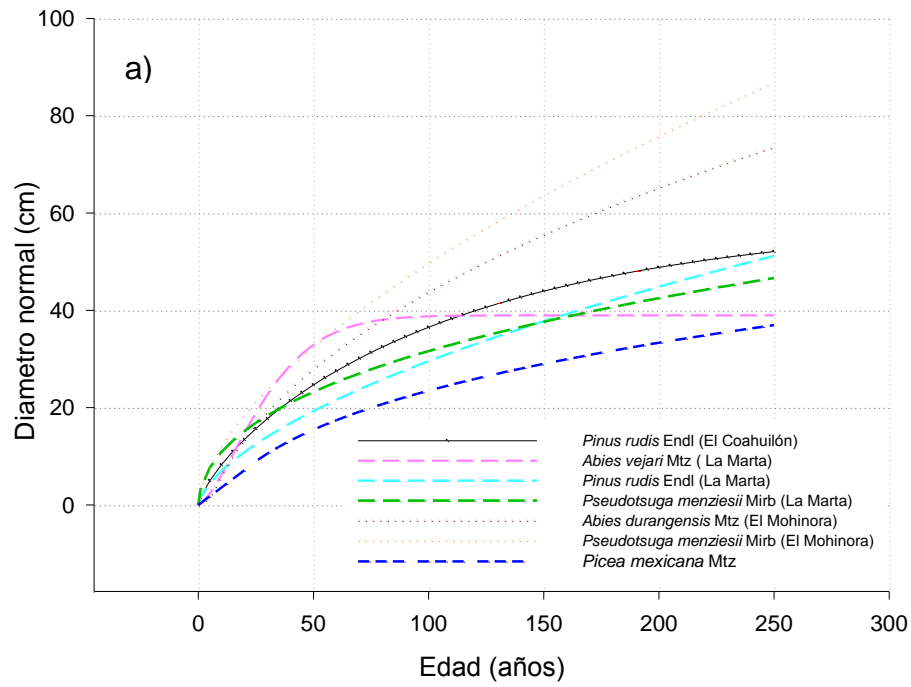


Figura 16. Diagrama de dispersión de los datos de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., con la línea de ajuste del mejor modelo y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura, población El Mohinora, Guadalupe y calvo, Chihuahua.

## 5 DISCUSIÓN

### 5.1 Crecimiento en incremento en diámetro normal

El modelo Korf es el que presentó mejor ajuste en relación a la predicción del diámetro presentándose en las especies *Pinus rudis* Endl., y *Pseudotsuga menziesii* Mirb., de la población La Marta, así también, en *Pseudotsuga menziesii* Mirb. y *Abies durangensis* Martínez de la población El Mohinora (Cuadro 9), concuerda con otro trabajo este modelo obtenido, como es el caso Hernández-Ramos (2012) que en su trabajo determinación de Turno e Índice de Sitio realizado en *Pinus montezumae* Lamb., obtuvo que modelo de Korf, presenta un ajuste adecuado para diámetro, sin embargo, en otro trabajo no concuerdan, como es el caso de Corral y Navar (2005) que en su análisis de crecimiento e incremento en cinco Pináceas obtuvieron que el modelo de Korf, junto con otros dos más, no presentan un ajuste adecuado para diámetro.

Debido a lo mencionado anteriormente, se considera que al obtener el modelo de Korf, cambia la rutina de utilizar los modelos comunes y con mayores resultado en otros trabajos (Schumacher, Chapman-Richards y Weibull), comprobando que hay variedad de modelos que pueden obtener buenos resultados para diámetro (Hernández-Ramos, 2012).

El modelo Chapman-Richards presentó mejor ajuste para especie *Pinus rudis* Endl., de la población el Coahuilón (Cuadro 9), que concuerda con otros trabajos, como es el caso de Corral y Navar (2005) que en su análisis de crecimiento e incremento en cinco Pináceas obtuvieron que el modelo Chapman-Richards presenta un ajuste adecuado para diámetro, así, también para Calvillo-García (2003) en el estudio epidométrico de *Pinus herrerae* Mart., obtuvo que el modelo Chapman-Richards se acerca al modelo con mejor ajuste seleccionado para diámetro.

El modelo de Weibull presentó mejor ajuste para la especie *Abies vejari* Martínez, de la población la marta (Cuadro 9) concuerda con otros trabajos, como es el caso con Sandoval-García (2010), en el ajuste de diámetro en tres especies

tropicales el modelo de Weibull mostró el mejor valor en  $R^2_{Adj}$ , así también, con Corral y Navar (2005) que en su análisis de crecimiento e incremento en cinco Pináceas obtuvieron que el modelo de Weibull, presentan el mejor ajuste para diámetro, González-Zárate (2000) en el estudio de crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* Mtz. Perry el modelo con el mejor ajuste en diámetro es Weibull.

EL modelo Schumacher presentó el menor valor en  $R^2_{Adj}$  para todas las especies, por eso no fue seleccionada para ajuste (Cuadro 9), no concuerda con otros trabajos, como es el caso de Sosa-Antuna (2001) en un estudio de crecimiento de la regeneración de *Pinus teocote* Schl. et Cham., donde el modelo que mejo se ajustó fue el de Schumacher, seguido por los modelos Sloboda y Levakovic I que presentaron un ajuste adecuado para diámetro., también para Monárrez-González (2003) en la predicción del rendimiento en masas específicas de *Pinus durangensis* Mtz., en el Estado de Durango, encontró que el mejor modelo para realizar el ajuste en diámetro es el de Schumacher.

Cuadro 9. Resumen de modelos ajustados por especie para la variable diámetro por población.

Modelos	Ecuación	Especie	Población
Schumacher	$Y = \text{Exp}^{(B_0 + B_1/E)}$	+	+
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \text{Exp}^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	<i>Pinus rudis</i> Endl.	El Coahuilón
Weibull	$Y = B_0 [1 - \text{Exp}^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	<i>Abies vejari</i> Mtz.	La Marta
		<i>Pinus rudis</i> Endl.	La Marta
Korf	$Y = \text{Exp}^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	La Marta
		<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	El Mohinora
		<i>Abies durangensis</i> Mtz.	El Mohinora

+ : Modelos no seleccionados por tener menor valor en  $R^2_{Adj}$  y un valor mayor en CME. Y=altura E=edad;  $\beta$ =parámetros.

## 5.2 Crecimiento e incremento en altura

El modelo Korf es el que presentó mejor ajuste en relación a la predicción de altura presentándose en las especies *Pinus rudis* Endl. y *Pseudotsuga menziesii* Mirb., de la población La Marta, así también, *Abies durangensis* Martínez de la población El Mohinora (Cuadro 10), no concuerda con otros trabajos, como es el caso de Hernández-Ramos (2012), que en su trabajo de determinación de turno e índice de sitio realizado en *Pinus montezumae* Lamb., obtuvo que el modelo de Korf no presentan un ajuste adecuado para altura, puesto que presenta el menor valor de  $R^2_{Adj}$ , así también, Sosa-Antuna (2001) en un estudio de crecimiento de la regeneración de *Pinus teocote* Schl. et Cham., los modelos Chapman-Richards y Weibull presentaron los mejores ajustes, a excepción del modelo Korf, que no presentó un ajuste adecuado, por su parte Corral y Navar (2005) en su análisis de crecimiento e incremento en cinco Pináceas obtuvieron que el modelo de Korf, junto con otros, no presentan un ajuste adecuado para altura.

El modelo Chapman-Richards presentó el mejor ajuste para especie *Pinus rudis* Endl., de la población el Coahuilón (Cuadro 10), concuerda con otros trabajos, como es el caso de Corral y Navar (2005) que en su análisis de crecimiento e incremento en cinco Pináceas obtuvieron que el modelo Chapman-Richards presenta el mejor ajuste para altura, también, Calvillo-García (2003) en el estudio epidométrico de *Pinus herrerae* Mart., obtuvo que el modelo Chapman-Richards presenta el mejor ajuste para altura, y por su parte, Monárrez-González (2003) en la predicción del rendimiento en masas específicas de *Pinus durangensis* Mtz., en el Estado de Durango, encontró que el mejor modelo para realizar el ajuste en altura es el Chapman-Richards.

El modelo de Weibull presentó el menor valor en  $R^2_{Adj}$  para todas las especies, por eso no fue seleccionada para ajuste (Cuadro 10), no concuerda con otros trabajos, como es el caso de Hernández-Ramos (2012) que en su trabajo de determinación de turno e índice de sitio realizado en *Pinus montezumae* Lamb., obtuvo que modelo de Weibull, presenta el mejor ajuste para altura, así también,

Sandoval-García (2010), en el ajuste de altura en especies tropicales obtuvo que el modelo de Weibull mostró el mejor ajuste para altura, y por su parte López-López (2009) en su trabajo para determinar el crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales el modelo Weibull obtuvo en el mejor ajuste en altura para la población de El Coahuilón, compartiendo buenos ajustes con los modelos Bertalanffy para La Marta y el Logístico para el Mohinora.

EL modelo Schumacher presentó mejor ajuste para la especie *Abies vejari* Martínez, de la población la marta (Cuadro 10), concuerda con otros trabajos, como González-Zárate (2000) en el estudio de crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry., el modelo Schumacher presenta un ajuste adecuado para altura, así también, González-López (2001), en el estudio de Calidad de sitio mediante análisis troncal, en regeneración de *Pinus rudis* Endl., encontró que el mejor modelo para realizar el ajuste en altura es el Schumacher, difiriendo de los modelos que se ajustaron a la especie de *Pinus rudis* Endl.

Cuadro 10. Resumen de modelos ajustados por especie para la variable altura por población.

Modelos	Ecuación	Especie	Población
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	<i>Abies vejari</i> Mtz.	La Marta
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	<i>Pinus rudis</i> Endl.	El Coahuilón
		<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	El Mohinora
Weibull	$Y = B_0 \left[ 1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))} \right]$	+	+
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	<i>Pinus rudis</i> Endl.	La Marta
		<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	La Marta
		<i>Abies durangensis</i> Mtz.	El Mohinora

+: Modelos no seleccionados por tener menor valor en  $R^2_{Adj}$  y un valor mayor en CME. Y=altura  
E=edad;  $\beta$ =parámetros.

### 5.3 Comparación de curvas de crecimiento

Las curvas de crecimiento de las Pináceas asociadas y *Picea mexicana* de la variable diámetro no presentan la forma habitual de “S” sigmoideal como lo menciona López-López (2009). En este caso, las curvas solamente presentan un punto de inflexión y no tienen punto de culminación. Las curvas de crecimiento en diámetro son cóncavas en relación al eje de las “X”, comportándose como logarítmicas (Figura 16a).

La curva de crecimiento *Picea mexicana* Martínez en diámetro se encuentra por debajo de las demás curvas de las Pináceas asociadas encontradas en los sitios permanentes, esto indica que la especie *Picea mexicana* es de un crecimiento menor respecto a las demás especies asociadas, pues a comparación de *Picea martinezii* T.F. Patterson, presenta un crecimiento menor, lo que puede deberse a que es una especie de muy lento crecimiento y que además está afectada fuertemente por los ascensos de temperatura que se han hecho notar en los últimos años, ya que para su desarrollo en condiciones óptimas requiere de temperaturas que lleguen incluso hasta 0° C (Figura 16a) (Gómez-López, 2007; López-López, 2009; Chaparro-Gómez, 2014).

Las curvas que presentan los más altos crecimientos son las especies *Abies durangensis* y *Pseudotsuga menziesii* de la población El Mohinora, donde la probabilidad de cambio de una categoría diamétrica es de un 48 y 31 % respectivamente, así también, la probabilidad de cambio de una categoría diamétrica para *Abies vejari*, *Pinus rudis* y *Pseudotsuga menziesii* de la población La Marta, es de 30,22 y 46 % respectivamente, de ésa manera para *Pinus rudis* de la población de El Coahuilón el porcentaje es de 26 %. Para las poblaciones de *Picea mexicana* la probabilidad de cambio de una categoría diamétrica es de 15 % para la Marta, 27 % El Coahuilón y 33 % El Mohinora, siendo ésta última la que presenta las mejores condiciones microclimáticas específicas (Chaparro-Gómez, 2014).

También, las curvas de crecimiento en altura de las Pináceas asociadas y *Picea mexicana* solamente presentan un punto de inflexión y no tienen punto de culminación, no presentan la forma habitual de “S” sigmoideal. Las curvas de crecimiento en altura son cóncavas en relación al eje de las “X”, comportándose como logarítmicas, similar a las curvas de crecimiento en diámetro (Figura 16b) (López-López, 2009).

La curva de crecimiento *Picea mexicana* Martínez en altura se encuentra por la parte media de las demás curvas de las Pináceas asociadas encontradas en los sitios permanentes. Indica que la especie *Picea mexicana* es de un crecimiento medio en altura respecto a las demás especies asociadas, el 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 es el problema de endogamia que presentan las poblaciones, provocándole desarrollo anormal y no vigorosa a las plantas (Flores-López *et al.*, 2005).

Las especies *Abies durangensis* y *Pseudotsuga menziesii* de la población El Mohinora, al igual que en la curva de crecimiento en diámetro se presentan con mayor crecimiento (Figura 16b)., debido a que su altitud le permite sobresalir al límite climático del bosque y permitir el desarrollo de flora, pues El Mohinora es el único lugar suficientemente alto dentro de la Sierra Madre Occidental como para proveer un refugio a la vegetación septentrional (vegetación caracterizada por la gran abundancia de bosques) de épocas pasadas (Martínez-Martínez, 1991).

Para las poblaciones de La Marta y El Coahuilón, los crecimiento en altura se ven afectadas por los constantes incendios como los de 1975, 1998, y 211, así como la sequía ocurrida en el periodo 2011-2012, que se suscitan en estas áreas y no permiten el crecimiento normal como lo mencionan Cornejo-Oviedo (1987), Reyna-Olvera (1998) y Giner *et al.*, (2011).



#### 5.4 Comparación de medias en crecimiento e incremento

De los incrementos medio anuales y crecimientos a la edad de 30 años, se realizó una comparación de medias de las especies asociadas, con las medias de *Picea mexicana* Mtz., de las tres poblaciones naturales obtenidas por López-López (2009) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Incrementos medio anuales a la edad de 30 años por especie para la variable altura y diámetro normal.

Especie	Crecimiento		Incremento		Población
	Media DN	Media HT	Media DN	Media HT	
<i>Picea mexicana</i> Mtz.	11.1191	9.0000	0.3706	0.1929	El Coahuilón
	8.5835	4.2500	0.2861	0.2293	La Marta
	4.8017	11.9276	0.1561	0.3976	El Mohinora
Especies asociadas					
<i>Pinus rudis</i> Endl.	17.7360	7.5900	0.5912	0.2530	El Coahuilón
<i>Abies vejari</i> Mtz.	22.6513	6.7430	0.7550	0.4694	La Marta
<i>Pinus rudis</i> Endl.	14.0405	14.0814	0.4680	0.2248	
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	18.3786	11.5258	0.6126	0.3842	
<i>Abies durangensis</i> Mtz.	21.7351	9.5911	0.7245	0.3197	El Mohinora
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Mirb.	23.9444	11.5120	0.7981	0.3678	

Dn: diámetro normal, Ht: altura total.

Al comparar el crecimiento en diámetro, se utilizó la prueba de “t” de de dos colas, donde los valores críticos son -2,57 y 2.57 a ambos lados de la distribución. Sin embargo, el valor calculado de t (-4.871) es inferior a -2.57; en incremento, al igual que en el crecimiento, en los valores críticos de la prueba de dos colas son -2.57 y 2.57 a ambos lados de la distribución, por que presentan los mismos grados de libertad (5), el valor calculado de t (-4.830) es muy cercano al valor de crecimiento (-4.871), y también es inferior a -2.57 (Cuadro 12). Por ello podemos concluir que las poblaciones de *Picea mexicana* y las Pináceas asociadas son significativamente diferentes en crecimiento e incremento con respecto a su media de diámetro a una edad de referencia de 30 años (Apéndice 13).

Al comparar el crecimiento en altura, se utilizó la prueba de “t” de dos colas, donde los valores críticos son -3.18 y 3.18 a ambos lados de la distribución. Sin

embargo, el valor calculado de  $t$  (-0.712) se presenta dentro del rango del valor aceptable de cero a -3.18; en incremento, al igual que en el crecimiento, en los valores críticos de la prueba de dos colas son -3.18 y 3.18 a ambos lados de la distribución, por que presentan los mismos grados de libertad (3), el valor calculado de  $t$  (-0.866) es similar al valor de crecimiento (-0.712), y también se presenta dentro del rango de cero a -3.18. (Cuadro 12). Por ello podemos concluir que las poblaciones de *Picea mexicana* y las Pináceas asociadas no son significativamente diferentes en crecimiento e incremento con respecto a su media en altura (Apéndice 14).

Cuadro 12. Prueba  $t$  para dos muestras suponiendo varianzas desiguales, en las variables altura y diámetro normal.

Estadísticos	Diámetro normal		Altura	
	<i>P. mexicana</i>	Pináceas	<i>P. mexicana</i>	Pináceas
Crecimiento				
Media	8.168	19.748	8.393	10.174
Varianza	10.107	13.697	15.013	7.535
Observaciones	3.000	6.000	3.000	6.000
Diferencia hipotética de las medias.	0.000		0.000	
Grados de libertad.	5.000		3.000	
Estadístico $t$ .	-4.871		-0.712	
$P(T \leq t)$ una cola.	0.002		0.264	
Valor crítico de $t$ (una cola).	2.015		2.353	
$P(T \leq t)$ dos colas.	0.005		0.528	
Valor crítico de $t$ (dos colas).	2.571		3.182	
Incremento				
Media	0.271	0.658	0.273	0.336
Varianza	0.012	0.015	0.012	0.008
Observaciones	3.000	6.000	3.000	6.000
Diferencia hipotética de las medias.	0.000		0.000	
Grados de libertad.	5.000		3.000	
Estadístico $t$ .	-4.830		-0.866	
$P(T \leq t)$ una cola.	0.002		0.225	
Valor crítico de $t$ (una cola).	2.015		2.353	
$P(T \leq t)$ dos colas.	0.005		0.450	
Valor crítico de $t$ (dos colas).	2.571		3.182	

## 6 CONCLUSIONES

Para la variable diámetro se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la nula ya que se obtuvo diferencia significativa en el crecimiento e incremento en diámetro de *Picea mexicana* Mtz. en comparación a las Pináceas asociadas.

Para la variable altura se acepta la hipótesis nula y se rechaza alterna ya que no se obtuvo diferencia significativa en el crecimiento e incremento en altura de *Picea mexicana* Mtz. en comparación a las Pináceas asociadas.

El modelo de crecimiento Korf es el que tiene mejor ajuste para la variable altura de las especies en la población de El Coahuilón y en diámetro de la población de El Mohinora.

El comportamiento de las curvas de las pináceas asociadas es producto de la variación en la apertura del dosel, tolerancia a la sombra, crecimiento lento de la mayoría de los árboles en la etapa juvenil y disturbios por incendios forestales.

La curva de crecimiento en diámetro de *Picea mexicana* Martínez se encuentra por debajo de las curvas de las Pináceas, esto indica que la especie es de un crecimiento menor respecto a las demás especies asociadas, mientras que en altura se presenta en la parte media con respecto a las demás curvas, presentando un crecimiento similar a las Pináceas asociadas en la etapa juvenil.

Las poblaciones de *Picea mexicana* y las Pináceas asociadas, son significativamente diferentes en crecimiento e incremento con respecto a su media de diámetro, mientras que en altura no presentan diferencia significativa, a una edad de referencia de 30 años.

La competencia con especies asociadas pueden dar lugar al desplazamiento de *Picea mexicana* Martínez principalmente en la población del Mohinora, Guadalupe y Calvo, Chihuahua.

## 7 RECOMENDACIONES

Se sugiere ampliar la base de datos obteniendo mayor número de muestras y categorías diamétricas, de todas las especies asociadas que están en las tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez, para observar el crecimiento e incremento con un ajuste adecuado.

Utilizar un mayor número de categorías diamétricas por especie, para observar el crecimiento e incremento con un ajuste adecuado.

Aplicar los modelos que presentaron mejores ajustes en el presente trabajo para posteriores estudios de crecimiento e incremento para estas áreas estudiadas.

## 8 LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ramírez., 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.
- Benítez-Benítez, M. 2010. Sobrevivencia y crecimiento en altura de *Pinus greggii* Engelm., en plantaciones del noreste de México. Monografía. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 47 p.
- Braham-Sabag., S. 1995. Regeneración natural de *Picea engelmannii* var. Mexicana en Arteaga Coah. y Rayones, N. L. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 74 p.
- Calvillo-García., 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-Arteaga., M., Valencia-Manzo., S. Flores-López., C. y Braham-Sabag., 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, Cornejo-Olgín, S. L. Lucero-Márquez, R. Miranda-Viquez J. M, Espinoza-Rodríguez E. y Pineda-Velázquez A. 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](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?ld=19).

- Chaparro-Gómez, L. 2014. Incremento en volumen del arbolado en sitios permanentes establecidos en poblaciones de *Picea mexicana* Martínez en México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 76 p.
- Chapin III, S.F., E.S. Zavaleta, V.T. Eviner, R.L. Naylor, P.M. Vitousek. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405: 234 -242.
- 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/cgibin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?ld=101](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgibin/geo_metadatos_esp.cgi?ld=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]. 02 de octubre de 2014. Disponible en: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/cni250kgw.zip](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/cni250kgw.zip)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2005. 'División Política Estatal'. Escala 1:1000000. Extraído de Conjunto de Datos vectoriales topográficos y toponímicos. Escala 1:1000000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000). México. [En línea]. 02 de octubre de 2014. Disponible en: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/destdv1gw.zip](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/destdv1gw.zip).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2012. Inventario nacional forestal y de suelo. Informe 2004-2009. Coordinación General de Planeación e Información a través de la Gerencia de Inventario Forestal Y Geomática. Jalisco, México. 175 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2005. Área de protección de flora y fauna "Cerro del Mohinora". Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida. Comisión Nacional de

Aéreas Naturales Protegida. T. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 64 p. Consultado 15 septiembre 2014. Disponible en:<http://www.cofemermir.gob.mx/mir/uploadtests/14538.66.59.20.EPJ.CERRO%20DEL%20MOHINORA%2011.pdf>.

Cornejo-Oviedo., E. H. 1987. Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga*, *Pinus*, *Abies* en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 196 p.

Corral R., S. y J. J. Návar-Chaidez. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco Pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11 (1): 29-47.

De la Fuente, E. Velázquez-Martínez, A. Torres-Rojo, J. M. Ramírez-Maldonado H., Rodríguez-Franco, C. y Trinidad-Santos, A. 1998. Predicción del crecimiento y rendimiento de *Pinus rudis* Endl en Pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. *Ciencia Forestal en México* 23 (84): 3-8.

Esquivel-Solís, R. M. 2003. Sistema de información, monitoreo y evaluación para la conservación. *In: Hacia una evaluación de las áreas naturales protegidas del trópico mexicano*. Universidad Veracruzana. Centro de Investigaciones Tropicales. Xalapa, Veracruz, México. pp. 25-34.

Flores-López., C. y Geada-López, G. 2006. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en tres poblaciones naturales de México. *In: Memoria de Resúmenes: XXI Congreso Nacional y I Internacional de Fitogenética*. Santa cruz 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-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-Mata., G. J. Jiménez-López., X. Madrigal-Sánchez., F. Moncayo-Ruiz. y F. Takaki T. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la Republica Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 59 p.
- Gadow, K. V., S. Sánchez- Orois. y J. G. Álvarez-González. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. 140 p.
- Gadow, K. V., S. Sánchez-Orois. y O.A. Aguirre-Calderón. 2004. Manejo forestal con bases científicas. Maderas y bosques. 10 (2): 3-16.
- 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](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id= 36).
- García-Arévalo, A. 2008. Vegetación y flora de un bosque relictual de *Picea chihuahuana* Martínez del norte de México. Polibotánica. 25:45-68.
- Giner, R. A., L.C. Fierro y L. F. Negrete. 2011. Análisis de la problemática de la sequía 2011- 2012 y sus efectos en la ganadería y agricultura de temporal. Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA) y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Saltillo Coahuila. 12 p.
- Gómez-López., 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.
- González-López, H.D. 2001. Calidad del sitio mediante análisis troncal y crecimiento entre verticilos, en regeneración de *Pinus rudis* Endl., de la



región de San José de la Joya, Galeana, N.L. Tesis Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 117 p.

González-Zárate, M. 2000. Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 91 p.

Groothousen, 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, Subsecretaria Forestal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. 88 p.

Gutiérrez, G y M, Ricker. 2014. Manual para tomar virutas de madera con el barreno de Pressler en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F.30 p.

Hernández-López., 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.

Hernández-Pachuca., J. 2014. Comparación de crecimiento e incremento en tres poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson a partir de sitios permanentes. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 54 p.

Hernández-Ramos, A. 2012. Determinación de turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en el sureste del estado de Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 76 p.

- Hernández-Salinas., D. 2009. Variación morfológica y anatómica de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 64 p.
- Hocker, H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 446 p.
- Imaña E, J. Y Encinas B, O., 2008. Epidometria forestal. Universidad de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Brasilia, Mérida. 66 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 agosto de 2014. Disponible en:[http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?Id=84](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=84).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Lugo-Hupb J., Vidal Zepeda, R., Fernández-Equiarte, A., Gallegos-García, A., Zavala-H, J. y otros. 1990. Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. [En línea]. 02 de octubre de 2014. Disponible en: [www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/hipso4mgw.zip](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/maps/geo/hipso4mgw.zip).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2012. 'Áreas Geoestadísticas Municipales, 2012', escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Marco Geoestadístico 2013 versión 6.0 c (Inventario Nacional de Viviendas 2012). Aguascalientes, Ags., México. En línea]. 02 de octubre de 2014. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/muni\\_2012gw.xml?httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/muni_2012gw.xml?httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no).

- 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]. 02 de octubre de 2014. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?Id=164](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=164).
- Jayaraman, K. 1999. A Statistical manual for forestry research. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok. Forestry Research Support Programme for Asia and the Pacific. Kerala Forest Research Institute. Kerala, India. 234 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masa forestales. 2da edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 365 p.
- Ledig, F. T. 2012. Climate change and conservation. *Versita*. 8:57-74.
- Ledig, F. T., B. Bermejo V., P. D. Hodgskiss, D. R. Johnson, C. Flores L., and V. Jacob C. 2000. The mating system and genetic diversity in Martínez spruce, an extremely rare endemic of México Sierra Madre Oriental: an example of facultative selfing and survival in interglacial refugia. *Can. J. For. Res.* 30: 1-9.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss and V. Jacob-Cervantes. 2002. Genetic diversity, mating system, and conservation of a Mexican subalpine relict, *Picea mexicana* Martínez. *Conservation Genetics*, 3: 113–122.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss, K. V. Krutovskii, D. B. Neale, and T. Eguiluz P. 2004. Relationships among the Spruces (*Picea*, Pinaceae) of Southwestern North America. *Systematic Botany* 29 (2): 275-295.
- López-López, D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales de México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 68 p.

- López-Ramírez, E. 2007. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 45 p.
- Manzanero, M. y G, Pinelo. 2004. Plan silvicultural en unidades de manejo forestal. Mora E.WWF Centroamérica. 49 p. [Consultado: 28 de agosto de 2014] Disponible en: [http://awsassets.panda.org/downloads/wwfca\\_plan\\_sivi.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/wwfca_plan_sivi.pdf).
- Martínez-Martínez, J. 1991. Flora y fitogeografía de la vegetación alpina-subalpina del Cerro Mohinora, Sierra Madre Occidental, Chihuahua, México. Programa de Ciencias Biológicas. 3 p.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de *Picea* en México. Anales del Instituto de Biología. Tomo XXX. México. 32. pp 137-142.
- Martínez-Vega, R. 2009. Variación morfológica y anatómica de *Picea martinezii* T. F. Patterson en cuatro poblaciones naturales de México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 45 p.
- Monárrez-González., J. C. 2003. Predicción y rendimiento en masas específicas de *Pinus durangensis* Mtz., en el estado de Durango. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, México. 98 p.
- Monroy, C. 1997. Evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus patula* Schl.et Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad Ciencias Forestales. UANL. Linares, Nuevo León, México. 136 p.
- Muñoz, T. 2006. Crecimiento de *Pinus johannis* M. F. Robert en un ensayo de precedencias en Mesa de las Tablas, Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 43 p.
- Newton, A. C. 2007. Forest ecology and conservation. A handbook of techniques. Oxford, UK: University Press.

- Odum, E. P. 1972. Ecología. Traductor: Ottenwaelder, C. G. 3ra ed. Interamericana. México, D.F. 636 p.
- Olvera-Vargas. M.; S. Moreno-Gómez. y B.L. Figueroa-Rangel. 1996. Sitios permanentes para la investigación silvícola: manual para su establecimiento. Libros Técnicos del Instituto Manantlán. Universidad de Guadalajara. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco. 56 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.
- Reyna-Olvera, E.M. 1998. Evaluación de la regeneración natural de coníferas en el área incendiada en 1975, en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 108 p.
- Rodríguez-Ortiz., G. González-Hernández., V, A. Aldrete, A. De Los Santos-Posadas, H, M. Gómez-Guerrero, A. y Fierros-González, A, M. 2011. Modelos para estimar crecimiento y eficiencia de crecimiento en plantaciones de *Pinus patula* en respuesta al aclareo. Revista fitotecnia mexicana, 34 (3), 205-212. Recuperado en 02 de octubre de 2014, de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802011000300012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000300012&lng=es&tlng=es).
- Rzedowski, J. 1978. 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. 105-109.

- Sandoval-García., R. 2010. Crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales de plantaciones comerciales en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 68 p.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (D.O.F) 30 de diciembre de 2010. México. 77 p. [En línea].22 deenerode2014.Disponibleen:<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2454.pdf>.
- Sierra-Villagrana., A. 2005. Viabilidad de semillas de *Picea mexicana* Martínez y su relación con indicadores productivos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 74 p.
- Sit, V. y M. Poulin-Costello. 1994. Catalogue of curves for curve fitting. Biometrics Information. Handbook No.4. Ministry of Forest Research Program. British Columbia. 110 p.
- Sosa-Antuna., M, A. 2001. Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus teocote* Schl.et Cham en rodales localizados al sureste de Coahuila y sur de Nuevo León. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 75 p.
- Thomas, P. y Farjon, A. 2013. *Picea engelmannii* ssp. Mexicana. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>. Downloaded on 17 October 2014.
- Valencia-Manzo, S., C. Flores-López., M. A. Capó-Arteaga., S. Braham-Sabag., R. Santos R., G, M. y C. Zúñiga B. 2012. Conservación de coníferas con distribución restringida y en peligro de extinción del noreste de México. Programa de recursos forestales. 943 p. [Fecha de consulta: 25 de agosto

2014] Disponible en: [http://www.uaaan.mx/DirInv/comeaa/Avances\\_y\\_Rdos\\_Inv/ARPI\\_1991-2001\\_Ed\\_2012\\_rt.pdf](http://www.uaaan.mx/DirInv/comeaa/Avances_y_Rdos_Inv/ARPI_1991-2001_Ed_2012_rt.pdf).

Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International. UK. 312 p.

Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Crecente-Campo, F., y Diéguez-Aranda, U. 2013. A dominant height growth and site index model for *Pinus pseudostrobus* Lindl. in northeastern México. *Agrociencia*, 47 (1), 91-106. Recuperado en 02 de octubre de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952013000100008&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000100008&lng=es&tlng=en).

Vega E., R. A. y C. Flores-López. 2008. Aspectos ecológicos de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales de México. *In: Memoria del Congreso Estudiantil Forestal Nacional*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 25 p.

Villalba-Lugo., R, E. 2009. Diversidad y estructura de especies leñosas en poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson en México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 75 p.

Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. LIMUSA. 632 p.

## APÉNDICE



Apéndice 1. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Pinus rudis* Endl., en la población El Coahuilón.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.7971	0.7890	65.8516	190.1900	3.9471	-28.6918	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.8386	0.8252	54.5635	155.0800	59.0193	0.0075	0.7499
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.8380	0.8245	54.7569	154.5100	61.2181	0.0220	0.8076
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.8350	0.8212	55.7980	151.4800	5.2685	6.1063	0.2803

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 2. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Pinus rudis* Endl., en la población El Coahuilón.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.7200	0.7089	12.5782	144.6600	2.9103	-22.4094	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.7492	0.7284	11.7360	104.2900	19.2543	0.0105	0.7114
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.7485	0.7276	11.7716	103.9500	19.6340	0.0332	0.7938
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.7447	0.7234	11.9496	102.2800	3.5707	5.7424	0.3955

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 3. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Abies vejari* Martínez, en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.5627	0.5626	117.5000	62.8200	3.8829	-21.5446	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.5816	0.5596	118.3000	41.8700	39.6072	0.0458	1.8518
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.5881	0.5663	116.5000	42.6300	38.9635	0.0055	1.4912
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.5637	0.5407	123.4000	39.8900	3.8144	30.8874	1.1427

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 4. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Abies vejari* Martínez, en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.6760	0.6599	16.2475	143.1100	3.1689	-15.7213	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.6797	0.6460	16.9095	91.7400	21.9783	0.0300	0.9471
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.6796	0.6460	16.9139	91.7200	21.9424	0.0343	0.9758
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.6779	0.6441	17.0027	91.2000	3.2923	9.8183	0.7894

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 5. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Pinus rudis* Endl., en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.9104	0.8880	28.4457	90.3500	3.6634	-21.3822	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.9283	0.8806	30.3319	56.7400	42.6243	0.0138	0.9318
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.8618	0.7697	58.4995	28.9400	36.1103	0.0925	0.7114
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.9558	0.9264	18.6944	92.6800	24.3338	23.9405	0.0290

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 6. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Pinus rudis* Endl., en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.8506	0.8133	14.8493	49.2800	3.0846	-26.4633	
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.7910	0.6517	27.6956	17.3300	16.9604	0.0313	0.5259
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.8073	0.6788	25.5450	18.8700	22.2000	0.0012	1.5980
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.9067	0.8833	9.2768	80.0800	335.900	336.5000	0.0022

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 7. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.5071	0.4660	75.2344	70.2900	3.4667	-7.7100	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.5334	0.4486	77.6910	45.5800	60.0467	0.0062	0.6100
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1(E^{B_2}))}]$	0.5108	0.4218	81.4677	43.3000	0.8090	0.0215	0.5100
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.5528	0.4714	74.4750	47.7100	11.0363	9.8768	0.0574

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 8. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población La Marta.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.5977	0.5643	13.8716	111.8800	2.8163	-5.5636	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.5724	0.4945	16.0929	64.0800	27.1657	0.0230	1.6260
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1(E^{B_2}))}]$	0.5376	0.4534	17.4036	58.9700	33.3210	0.0420	0.6260
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.6717	0.6442	11.3274	138.3600	338.500	336.900	0.0007

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 9. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Abies durangensis* Martínez, en la población El Mohinora.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.4090	0.4001	143.9000	205.0800	3.8553	-29.0452	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1 \cdot E)}]^{B_2}$	0.3586	0.3396	158.4000	122.3800	33.6689	0.0396	1.9807
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{-(B_1(E^{B_2}))}]$	0.3311	0.3113	165.2000	116.4200	33.9635	0.0037	1.6279
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.4592	0.4430	133.6000	149.2900	9.3712	8.9199	0.1026

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 10. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Abies durangensis* Martínez, en la población El Mohinora.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.4481	0.4400	36.7784	243.2800	3.2558	-28.8220	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.3990	0.3810	40.6486	144.9400	29.3253	0.0062	0.4569
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.3452	0.3257	44.2847	131.1900	24.7100	0.0015	1.6279
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.5002	0.4928	33.3085	272.1600	440.3000	440.1000	0.0014

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 11. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable diámetro en *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población El Mohinora.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.6505	0.6447	156.1000	300.660	4.3959	-53.6845	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.6963	0.6859	138.000	229.830	129.600	0.0022	0.6558
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.6965	0.6861	137.900	229.990	163.300	0.0138	0.6861
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.6955	0.6905	136.000	349.580	441.200	440.100	0.0014

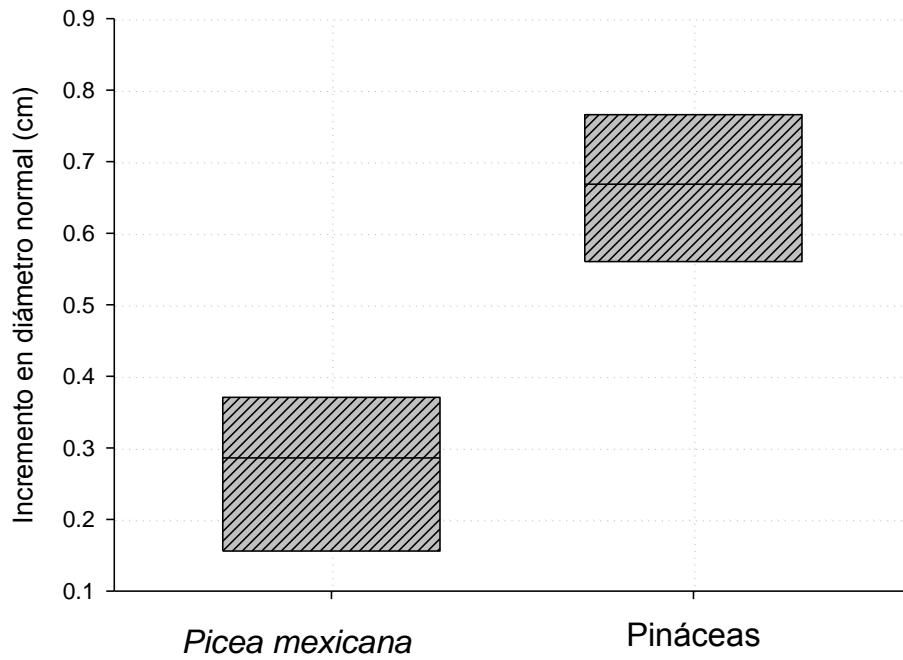
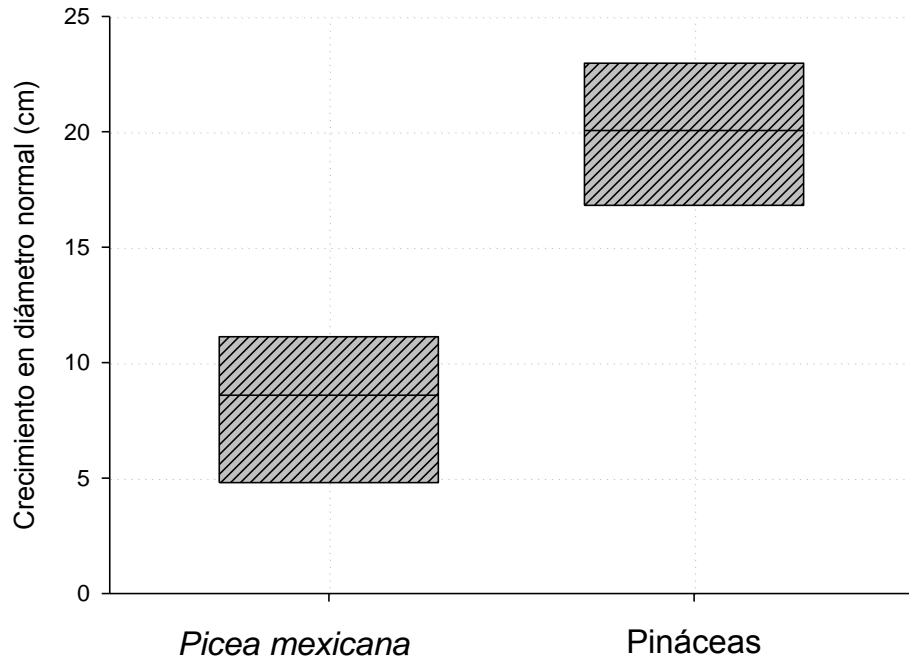
R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 12. Estadísticos de los modelos analizados para los datos de la variable altura en *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en la población El Mohinora.

Modelo	Ecuación	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>Adj</sub>	CME	F-calculada	Parámetros		
						B0	B1	B2
Schumacher	$Y = \exp^{(B_0 + B_1/E)}$	0.6340	0.6279	31.7157	332.7800	3.5439	-43.7254	0.0000
Chapman-Richards	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 * E)}]^{B_2}$	0.6871	0.6765	27.5729	258.5200	34.1722	0.0077	0.7135
Weibull	$Y = B_0 [1 - \exp^{(-B_1 (E^{B_2}))}]$	0.6866	0.6759	27.6225	258.0200	36.3953	0.0267	0.7679
Korf	$Y = \exp^{(B_0 - (B_1/E^{B_2}))}$	0.6841	0.6734	27.8419	255.8300	5.2689	5.7500	0.2089

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=coeficiente de determinación ajustado, B0, B1, B2= parámetros y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 13. Graficas de caja de comparación de crecimiento e incremento medio anual a la edad de 30 años para la variable diámetro normal.



Apéndice 14. Graficas de caja de comparación de crecimiento e incremento medio anual a la edad de 30 años para la variable altura.

