

EVALUACIÓN DASOMÉTRICA DE PLANTACIONES DE CUATRO ESPECIES DE PINOS EN AYOTOXTLA, GUERRERO

B. Arteaga-Martínez

División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN

Se evaluó el crecimiento de cuatro especies de pinos en la región de Ayototxtla del estado de Guerrero: *Pinus radiata*, *P. oaxacana*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. Se obtuvo el incremento corriente anual y el incremento medio anual de cada variable dasométrica por medio de análisis troncal, lo cual sirvió para ajustar modelos de índice de sitio a través de relaciones edad-altura, obtener modelos para predecir el volumen en función del diámetro normal y la edad, y obtener modelos de crecimiento en volumen, diámetro normal y altura total en función de la edad.

El modelo de Chapman-Ricards, fue el que mejor ajuste presentó en el cálculo de índices de sitio de las diferentes especies. Los modelos predictores de volumen obtenidos fueron para *Pinus radiata* el de la variable combinada, el Australiano para *P. oaxacana* y el Meyer modificado para *P. pseudostrobus*. En la prueba de modelos de crecimiento en función de la edad, se obtuvo que el modelo de Shumacher tuvo una gran representatividad, excepto para el diámetro normal en las especies *Pinus oaxacana* y *P. pseudostrobus*, en las que el mejor ajuste lo presentó el modelo de Chapman-Richards.

PALABRAS CLAVE: modelos de crecimiento, índice de sitio, tabla de volúmenes

EVALUATION OF *Pinus* spp. PLANTATIONS IN AYOTOXTLA, GUERRERO

SUMMARY

In the region of Ayototxtla, in the state of Guerrero, the growth of four pine species was assessed: *Pinus radiata*, *P. oaxacana*, *P. montezumae*, and *P. pseudostrobus*. Using the site index models of stem analysis, current annual increment and mean annual increment for each dasometric variable were obtained. This served to adjust the models of site index using age:height ratios to obtain models for the prediction of volume in function of diameter at breast height (dap) and age and obtain models of volume growth, dap and total height in function of age.

The Chapman-Richards model had the best fit in calculating site indexes of the different species. The volume predictor models obtained were combined variable for *Pinus radiata*, Australian for *P. oaxacana*, and modified Meyer for *P. pseudostrobus*. In the test of growth models in function of age, the Shumacher model showed broad representativity, except for dap in the species *Pinus oaxacana* and *P. pseudostrobus*, for which the best fit was that of the Chapman-Richards model.

KEY WORDS: growth models, site index, volume table.

INTRODUCCIÓN

A pesar de las grandes ventajas que proporcionan las plantaciones forestales en comparación con las áreas naturales, en México son pocas las experiencias que hasta el momento se tienen; lo anterior hace necesaria la evaluación de las pocas plantaciones existentes en el país, con el fin de tener un mayor conocimiento sobre el comportamiento y evolución de éstas en las diferentes áreas o zonas geográficas donde se han establecido.

Con una evaluación dasométrica se pretende obtener información básica acerca de las mejores alternativas de plantación en determinadas áreas, proporcionando así una seguridad a aquellas personas u organizaciones interesadas en llevar a cabo plantaciones.

Por tal motivo, la realización del presente trabajo obedece a la necesidad de aumentar el conocimiento sobre el comportamiento de las diferentes especies establecidas en la región de La Montaña del estado de Guerrero,

cimentando las bases de su manejo por medio de la estimación de la productividad de dichas plantaciones y de la obtención de modelos que expresen su situación actual y su comportamiento en el futuro.

REVISIÓN DE LITERATURA

La evaluación de los recursos forestales tiene como objetivo preponderante el determinar su importancia y grado de utilidad, y así fundamentar su aprovechamiento, no sólo a nivel maderable, sino en la diversidad de bienes y servicios que de ellos se obtienen (Ramírez y Torres, 1985).

En algunos trabajos recientes se ha tratado de conocer el comportamiento de las plantaciones en diferentes condiciones de crecimiento, tanto del sitio como de establecimiento. Esto se ha efectuado a través de realizar evaluaciones indirectas como el análisis troncal, y en contados casos recurriendo a mediciones periódicas en parcelas permanentes (Ramos y Romero, 1993). Uno de los aspectos que indudablemente despierta gran interés entre los estudiosos del manejo forestal de cualquier parte del mundo, es el de la predicción del comportamiento de las masas arboladas, estén o no sujetas a algún tipo de tratamiento silvícola.

Existe una gran cantidad de metodologías para la determinación o estimación del incremento en las masas arboladas, los cuales suelen dividirse en métodos directos y métodos indirectos; sin embargo, los más utilizados son los primeros, ya que son mucho más confiables que los indirectos, además de que su utilidad práctica ya ha sido probada y aceptada; estos métodos se pueden clasificar en cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncal (Klepac, 1983).

En la actualidad, los modelos matemáticos son una de las herramientas analíticas más socorridas para la generación de conocimiento en el estudio del crecimiento y reproducción de masas forestales sujetas a un régimen de cultivo. La diversidad de modelos en cuanto a estructura, componentes, construcción y propósitos de utilización, es debida a que el crecimiento y la reproducción son procesos complejos. La cualidad de abarcar procesos dinámicos que implican un cambio continuo en el tiempo, ha sido uno de los puntos más relevantes para la adopción generalizada de los modelos matemáticos como herramienta de investigación biológica (Mendoza, 1983). Así por ejemplo, el mismo autor menciona que el fenómeno de crecimiento de árboles es posible abstraerlo en dos variables básicas: la altura y la edad.

Los modelos de índice de sitio se clasifican dentro de las funciones empíricas, ya que en éstas, los procesos biológicos no son considerados directamente, en cambio

el crecimiento se toma como la respuesta de un sistema complejo, sobre el que actúa un gran número de variables, pero pocas de ellas, frecuentemente solo una, la edad, se considera para el modelaje (Ramírez, 1994).

En dasonomía el término sitio se utiliza en dos sentidos, ya sea como una posición geográfica o como las condiciones del ambiente físico asociado a un lugar. En este último sentido, el sitio puede definirse como un área en donde se combinan características de suelo, topografía, clima y factores bióticos (Clutter *et al.*, 1983)

Para evaluar la productividad de un sitio, generalmente es necesario hacer mediciones de características de éste (fisiografía, clima, suelo, vegetación, etc) y de las variables del rodal (edad, altura, otros), las cuales se usan como términos en funciones matemáticas o puntos para generar gráficas que expresan la productividad de dicho sitio. Por lo tanto, la productividad se puede estimar en función de las variables del rodal, de las variables del sitio o por la combinación de estos dos (Arteaga, 1985). Esta productividad se expresa comúnmente, en término de las propiedades de cada rodal, tales como altura a cierta edad, o bien incremento medio anual, en diámetro, en altura y en volumen.

Para la evaluación de la productividad del sitio (Clutter *et al.*, 1983), clasifican a los métodos en directos e indirectos; en los primeros consideran la estimación en función de los datos dasométricos. Mientras que en los segundos está la estimación a partir de la relación que hay entre especies, la estimación a partir de las características de la vegetación, y la estimación a partir de factores topográficos, climáticos y edáficos. El índice de sitio es el proceso mediante el cual es posible estimar la productividad del sitio de masas coetáneas preferentemente puras, con base en relaciones altura dominante-edad. Asimismo, el índice de sitio es, en este caso, la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo, puro por lo general, a una edad determinada, a la que se le denomina edad base (Zepeda y Rivero, 1984).

Una familia de curvas de índice de sitio es simplemente un grupo de patrones de desarrollo en altura con un símbolo cualitativo o número asociado con la curva para propósito de referencia (Clutter *et al.*, 1983). De acuerdo a las técnicas de construcción, las curvas de índice de sitio pueden ser anamórficas y polimórficas.

Las curvas anamórficas de índice de sitio, se caracterizan porque todas presentan la misma forma, ya que son proporcionales con pendiente constante entre ellas a una misma edad, pero con interceptadas al origen diferentes (Clutter *et al.*, 1983), lo cual provoca que el punto de inflexión de todas las curvas ocurra a una misma edad (Zepeda y Rivero, 1984).

Las curvas polimórficas, por su parte son familias de líneas con pendientes variables, que generalmente no guardan

una relación de paralelismo entre sí o sea que no son proporcionales, no dependen unas de otras, por tal razón sus puntos de inflexión ocurren en edades diferentes, observándose que el crecimiento en altura culmina más temprano en los sitios de mejor calidad (Clutter *et al.*, 1983; Arteaga, 1985).

El índice de sitio es una representación gráfica que describe la relación entre la altura y la edad de un rodal o árbol individual. Para modelar dicha relación se han utilizado diferentes modelos y técnicas para ajustarlos. La mayoría de estas técnicas, según Clutter *et al.*, (1983). Se dividen en: método de la curva guía; método de la diferencia algebraica; y método de la predicción de parámetros.

Los cuales a su vez, pueden construirse con datos de edad-altura provenientes de: parcelas temporales (método de la curva guía); árboles muestra o parcelas permanentes; y análisis troncal.

Para el ajuste de curvas de índice de sitio por el método de la diferencia algebraica, se requieren datos de sitios permanentes o remediciones de árboles, o datos de análisis troncal y pueden ser aplicados a cualquier ecuación edad-altura para generar familias de curvas anamórficas y polimórficas. El paso inicial para la aplicación de este método es el desarrollo de una fórmula de diferencia algebraica de la ecuación edad-altura ya ajustada. Esta fórmula de diferencia expresa la altura remediada (H2) como una función de la edad de remediación (E2), edad inicial (E1) y altura inicial (H1) (Clutter *et al.*, 1983 y Ramírez y Torres, 1985).

Borders *et al.* (1984) Plantean que en general una ecuación de diferencia algebraica tiene la forma:

$$Y_2 = f(Y_1, E_2, E_1, B) \quad (1)$$

Donde:

Y2 : valor de una variable continua definida sobre un árbol o un rodal en el período 2 de la medición.

Y1 : Misma variable medida en el período 1

E2, E1 : Edades de los árboles o rodales en los períodos 2 y 1 respectivamente.

B : Conjunto de parámetros de la ecuación.

La estimación del incremento en masas forestales es un elemento clave para el manejo forestal; en México se cobra cada vez mayor conciencia de la necesidad de tener determinaciones confiables de este parámetro para basar en ellas las decisiones de los aprovechamientos forestales (Flores, 1983).

En 1982 se llevó a cabo la evaluación del crecimiento de las plantaciones forestales realizadas en la cuenca de

Cointzio en el estado de Michoacán, constituidas por *P. montezumae* y *P. pseudoastrobus*, encontrando que este último mostró el mayor incremento en altura (Mas, 1984). Ramos y Romero (1993) realizaron la evaluación de una plantación de *Pinus patula*, *P. montezumae* y *P. oaxacana*, en la región de Perote, Veracruz; obteniendo que el *P. oaxacana* presenta los mayores crecimientos a nivel individual, pero que no contribuye significativamente en el incremento total debido a que su número de individuos por hectárea es menor en relación a *P. Patula*. Sin embargo, recomiendan a *P. oaxacana* para posteriores plantaciones en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en las plantaciones establecidas en el municipio de Zapotitlán. Tablas del estado de Guerrero, cuyas coordenadas geográficas aproximadas son 17° 15' 38" de latitud norte y 99° 06' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. El clima de la zona corresponde al semicálido, con temperatura media anual entre 18° y 22° C, y una precipitación media anual de 963 mm; la vegetación presente en esta región es de bosques de pino-encino, además de pastizales, los cuales se encuentran a una altitud promedio de 2000 msnm; según la clasificación FAO-UNESCO; en esta zona se encuentran suelos que corresponden a cambisoles, xerosoles, gleysoles y luvisoles, predominando estos últimos (Arteaga, 1983).

Para poder llevar a cabo la evaluación de las plantaciones consideradas, se procedió primeramente a realizar la delimitación de la superficie ocupada por cada una de ellas; esto se realizó por medio de brújulas y cinta métrica, debido a que no se contaba con fotografías aéreas de la zona de estudio.

Se empleó un diseño de muestreo simple aleatorio debido al tipo de población con el que se trabajó. Las unidades de muestreo estuvieron constituidas por sitios circulares de 314.16 m² (radio de 10 m); la población muestreada en cada plantación fue en promedio del 3.5 %. Los sitios de muestreo fueron elegidos mediante una tabla de números aleatorios y se ubicaron de acuerdo a su posición en el plano del área. Una vez ubicado el sitio en el campo, se procedió a tomar la información de todos los árboles que quedaran incluidos en él:

1. Altura total, para lo cual se utilizó una pistola Haga.
2. Diámetro normal; con una cinta diamétrica se midió el diámetro a 1.30m del suelo.
3. Grosor de corteza; se midió a 1.30m del suelo, empleando para ello un medidor de corteza con escala en centímetros.
4. Especie.

Se derribaron un total de 38 árboles para análisis troncal; estos árboles se localizaron en los 79 sitios de

inventario en los que se realizó el muestreo. Los árboles seleccionados para ser derribados se eligieron de acuerdo a la metodología propuesta por Mas (1970), y el número de árboles derribados para análisis troncal diferente para cada especie fue: *Pinus radiata*, diez y ocho, *P. oaxacana*, nueve, *P. pseudostrobus*, siete y *P. montezumae*, cuatro.

Para obtener las ecuaciones de índice de sitio, se probó la bondad de ajuste de los modelos de Shumacher y Chapman-Richards, desarrollados por el método de la diferencia algebraica, con los cuales es posible obtener curvas de índice de sitio anamórficas y polimórficas. Lo anterior se llevó a cabo por medio del procedimiento NLIN con el método DUD del paquete estadístico SAS.

De la misma forma, y utilizando los datos provenientes del análisis troncal, se probó la bondad de ajuste de un gran número de modelos para predecir volumen fuste total sin corteza en tres de las cuatro especies motivo de estudio. No se consideró *Pinus montezumae* en el ajuste de los modelos de volumen y en los de crecimiento, debido a que su base de datos resultó ser muy pequeña para lograr ajustes aceptables en cada una de las variables analizadas.

Los modelos probados para predecir volumen fueron ajustados con ayuda del paquete estadístico SAS, con el procedimiento REG; cabe señalar que antes de realizar el

ajuste de cada modelo, se realizó su transformación a la forma lineal; una vez linealizados, se procedió a su ajuste con el procedimiento antes mencionado, obteniéndose el análisis de varianza y otros estadísticos necesarios para la elección del modelo de mejor ajuste.

Por último, se probaron modelos para estimar el crecimiento del diámetro normal sin corteza, altura total y volumen fuste total sin corteza, todos en función solamente de la edad. Lo anterior se llevó a cabo también con ayuda del paquete estadístico SAS, mediante el procedimiento NLIN METHOD-MARQUARDT. De esta manera se obtuvieron nueve ecuaciones, la cuales corresponden tres para cada especie por cada una de las variables que se evaluaron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de sitio

Los modelos probados para obtener las ecuaciones de índice de sitio, se muestran en el Cuadro 1, en el cual se observa que la menor variación de los parámetros y el mayor valor de F calculada para las especies *Pinus radiata* y *P. pseudostrobus* lo presenta el modelo de Chapman-Richards en su tipo anamórfico, mientras que para las especies *Pinus oaxacana* y *P. montezumae* es el modelo

CUADRO 1. Resultados del análisis de regresión no lineal de los modelos probados para el cálculo del índice de sitio en las especies consideradas.

Modelo	Exp	G	SC regresión	SC residual	EE B1	EE B2	EE B3	Ia inferior	IA superior	Pseudo R ²	F calculada
Shumacher	1	164	14 261.55	156.25		3.8				0.9600	15 065 08
Anamórfico	2	75	7 450.52	79.75		5.3				0.9547	7 007 08
	3	29	2 326.94	38.19		9.8				0.9303	1 766 88
	4	63	7 953.55	74.63		6.2				0.9632	6 714 08
Shumacher	1	164	14 230.07	186.73	3.6			15.86	18.33	0.9519	12 947 78
Polifórmico	2	75	7 461.72	68.55	5.3			17.65	21.59	0.9610	8 163 60
	3	29	2 330.08	35.05	10.06			13.43	20.40	0.9360	1 927 92
	4	63	7 953.84	74.34	6.6			19.46	25.37	0.9634	6 740 64
Chapman-R	1	164	14 346.17	70.63		63	4.9			0.9820	16 554 54
Anamórfico	2	74	7 490.35	39.92		11.36	7.6			0.9773	6 943 23
	3	28	2 348.40	16.73		21.80	13.4			0.9690	1 956 57
	4	62	7 994.25	33.93		9.7	8.1			0.9833	7 304 14
Chapman-R	1	174	14 294.48	122.32	13.0	31.27		18.87	31.95	0.9690	9 524 07
Polimórfico	2	74	7 500.67	29.60	5.1	12.6		17.56	21.60	0.9833	9 374 66
	3	28	2 352.29	12.84	11.2	25.1		14.11	22.51	0.9770	2 564 68
	4	62	7 990.83	37.35	7.9	17.8		20.78	28.61	0.9816	6 632 49

Donde:

\1 *Pinus radiata*
 \2 *P. oaxacana*
 \3 *P. montezumae*
 \4 *P. pseudostrobus*

EE = error estándar
 IA = intervalo asintótico
 Esp = especie
 GL = grados de libertad

SC = suma de cuadrados

de Chapman-Richards pero en su tipo polimórfico, por lo que se considera es el de mejor bondad de ajuste para las especies de pino estudiadas. A partir de estas ecuaciones pueden construirse las correspondientes curvas de índice de sitio, incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) por especie.

Tabla de volúmenes

El ajuste de los modelos de volumen fuste total sin corteza en función de las variables diámetro normal y altura total, arrojó resultados diferentes para cada especie estudiada. En el caso de *Pinus radiata* el mejor ajuste lo presentó el modelo de la variable combinada; *Pinus oaxacana* tuvo un buen ajuste con el modelo Australiano y *Pinus pseudostrobus* con el modelo de Meyer modificado.

Para los modelos Australiano y Meyer modificado se efectuaron pruebas de F parciales, con la finalidad de conocer el aporte que hacia cada una de las variables al modelo; lo anterior con el objeto de detectar si era o no posible eliminar alguna variable sin afectar el ajuste del mismo, volviéndolo más sencillo y de fácil manejo; lo anterior dio como resultado la obtención de los siguientes modelos finales:

$$Pinus radiata \quad V = \beta_0 * \beta_1(d^2*h) \quad (2)$$

$$Pinus oaxacana \quad V = \beta_0 * \beta_1(d^2) + \beta_2(d^2*h) \quad (3)$$

$$Pinus pseudostrobus \quad V = \beta_0 * \beta_1(d*h) + \beta_2(d^2*h) \quad (4)$$

En donde V: Volumen; β_0 , β_1 y β_2 estimadores; d^2 : diámetro normal cuadrático y h: altura total del árbol.

Con base en estos últimos modelos se obtuvieron las correspondientes ecuaciones de volumen fuste total sin corteza (VFTsc) para cada especie. Dichas ecuaciones se muestran en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Ecuaciones ajustadas para predecir volumen en las especies *Pinus radiata*, *P. oaxacana* y *P. pseudostrobus*.

Especie	Ecuación ajustada	R ²	Sy
<i>Pinus radiata</i>	$V=0.002178+0.434852(d^2*h)$	0.9857	0.01284
<i>P. oaxacana</i>	$V=0.003542-1.987278(d^2) +0.518032(d^2*h)$	0.9912	0.00900
<i>P. pseudostrobus</i>	$V=0.007907-0.025384(d*h) +0.517739(d^2*h)$	0.9908	0.01281

La información utilizada para el ajuste de los modelos fue la proveniente de los análisis troncales: 93 observaciones para *Pinus radiata*, 34 para *P. oaxacana* y 21 para *P. pseudostrobus*. Con el objetivo de mejorar las estimaciones, resultaría conveniente realizar un reajuste de los modelos a futuro, ya que fuera del rango de las

variables utilizadas para el ajuste de los modelos, puede variar el comportamiento del volumen estimado.

En la bondad de ajuste de los modelos se tomaron en cuenta valores de R² cercanos a 1 y errores estandar lo más bajo posibles. Al realizar las gráficas de los residuales, se observó una tendencia de éstos a mostrar desigualdad en la distribución de varianzas (heterocedasticidad), sin embargo, se obvió tal situación por las siguientes consideraciones:

1. Todos los modelos presentan tal tendencia, en algunos casos muy marcada; sin embargo, los modelos escogidos la reducen al mínimo.
2. Los errores de las ecuaciones elegidas son los más cercanos a cero para todas las especies, es decir, los errores individuales se alejan lo menos posible del eje X.
3. Las ecuaciones seleccionadas tienen la mejor distribución de errores, ya que éstos se distribuyen de igual modo tanto en sentido positivo como negativo a lo largo del eje X (disminuyendo así problemas de heterocedasticidad).

Lo anterior es base para poder utilizar las ecuaciones elegidas y esperar que las estimaciones para volúmenes individuales y totales, estén lo más cercano posible a las medias poblacionales, de acuerdo a la base de datos utilizada.

Crecimiento en diámetro, altura y volumen

Como resultado de la prueba de modelos de crecimiento en función de la edad para las variables volumen fuste total sin corteza, diámetro normal sin corteza y altura total, se obtuvieron tres modelos para cada una de las especies objeto de estudio. El modelo que presentó el mejor ajuste a las diferentes variables de interés fue el de Shumacher; a excepción de las variables dsc en las especies *Pinus oaxacana* y *P. pseudostrobus*, en las que el mejor ajuste lo presentó el modelo de Chapman-Richards.

El modelo de Shumacher en volumen tiene la forma siguiente:

$$V = \beta_0 * e^{\beta_1 * (1/E)} \quad (5)$$

Donde:

V: volumen individual sin corteza

E : edad

β_0 , β_1 : parámetros de estimación

e : base de los logaritmos naturales

En forma lineal, el modelo queda de la siguiente forma:

$$\ln(V) = \ln \beta_0 + \beta_1 * (1/E)$$

CUADRO 3. Ecuaciones de crecimiento en volumen obtenidas con el modelo de Shumacher

Especie	Ecuación	R ²	Sy
<i>P. radiata</i>	$V=0.56424823 * e^{-24.012447(1/E)}$	0.8461	0.58996
<i>P. oaxacana</i>	$V=1.098886067 * e^{-28.620404(1/E)}$	0.9140	0.50946
<i>P. pseudostrobus</i>	$V=1.426522979 * e^{-27.856235(1/E)}$	0.8924	0.57608

El modelo que mejor ajuste presentó para la variable diámetro normal sin corteza fue el de Chapman-Richards para las especies *Pinus oaxacana* y *P. pseudostrobus*, mientras que para la especie *P. radiata* el mejor ajuste lo manifestó el modelo de Shumacher. La transformación del modelo Chapman-Richards se realizó mediante la obtención de las derivadas parciales para cada uno de sus parámetros. Con el modelo ajustado, se observó la distribución de los residuales y se obtuvieron los valores de la pseudo R² y Sy (Cuadro 4).

CUADRO 4. Ecuaciones ajustadas con los modelos de Shumacher y Chapman-Richards para la variable diámetro normal sin corteza.

Especie	Ecuación	R ²	Sy
<i>P. radiata</i>	$dsc = 0.277717741 * e^{-9.618553(1/E)}$	0.8687	0.21530
<i>P. oaxacana</i>	$dsc = 0.1969251 * (1 - e^{-0.2280235 * E})^{4.2439925}$	0.8870	0.02082
<i>P. pseudostrobus</i>	$dsc = 0.2381313 * (1 - e^{-0.1745825 * E})^{3.0429991}$	0.8741	0.02415

En el Cuadro 4 se puede apreciar una similitud en los valores estadísticos de R², sin embargo, es grande la diferencia existente en el estadístico Sy; las especies *P. oaxacana* y *P. pseudostrobus* presentan un valor menor en su Sy, debido a que la estimación incluyó un mayor número de variables dentro del modelo ajustado. En las pruebas de bondad de ajuste realizadas para la especie *P. radiata* con el modelo de Shumacher, específicamente en la graficación de los errores, se apreció una ligera tendencia a abrirse con valores pequeños en la variable de interés; mientras que las otras dos especies ajustadas con el modelo de Chapman-Richards presentan una mejor distribución de sus residuales a lo largo del eje X.

En el caso de los datos de altura total, el modelo que presentó los mejores ajustes fue el de Shumacher, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 5.

CUADRO 5. Ecuaciones para crecimiento en altura obtenidas mediante el modelo de Shumacher .

Especie	Ecuación ajustada	R ²	Sy
<i>Pinus radiata</i>	$h = 19.24524467 * e^{-7.210856(1/E)}$	0.7174	0.26062
<i>P. oaxacana</i>	$h = 24.99630465 * e^{-7.882062(1/E)}$	0.9271	0.12829
<i>P. pseudostrobus</i>	$H = 28.99672811 * e^{-8.243687}$	0.7222	0.30451

Del Cuadro 5 puede resaltarse el hecho que para la especie *Pinus oaxacana*, el modelo presentó los valores más altos de R² y el menor Sy. Mientras que para las especies *P. radiata* y *P. pseudostrobus*, el modelo se comportó de manera similar en cuanto a los valores de R² y Sy.

Del análisis de los estadísticos mostrados en los nueve modelos de crecimiento, el modelo de Shumacher tiene una gran representatividad para las variables volumen de fuste total sin corteza y altura total para las especies consideradas, excepto para la variable dsc, la cual ajustó mejor con el modelo Chapman-Richards para las especies *Pinus oaxacana* y *P. pseudostrobus*.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El modelo de Chapman-Richards presentó la mejor bondad de ajuste para la identificación de índices de sitio, tanto en su presentación anamórfica como polimórfica.
2. El uso del método de diferencia algebraica para ajustar curvas de índice de sitio es muy confiable, siempre y cuando se cuente con información derivada de análisis troncal o de parcelas permanentes de muestreo.
3. Las ecuaciones ajustadas para predecir volumen rollo fuste total en función del diámetro normal y la altura presentan un excelente ajuste, y por lo tanto una gran representatividad sobre la base de datos en que están construidas, además de ser bastante simples, característica que los hace muy atractivos para justificar su utilización práctica en la región de estudio.
4. Las ecuaciones ajustadas para crecimiento en volumen, diámetro normal y altura en función de la edad, presentaron un ajuste estadístico regular pero aceptable para su utilización práctica.
5. Se recomienda la utilización de las diferentes ecuaciones obtenidas en este estudio en un período de 3 a 4 años y no extrapolarla a más tiempo del indicado, ya que el comportamiento de dichas ecuaciones podría ser diferente.

LITERATURA CITADA

- ARTEAGA M., B. 1983. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de *Pinus radiata* D. Don., en Ayototla, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 144 p.
- ARTEAGA M., B. 1985. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl et Cham., en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 181 p.
- BORDERS, B. E.; BAILEY, R. L.; WARE, K. K. 1984. Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. *Forest Science* 30:411-423.
- CLUTTER, J. L.; FORSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAYLEY, R. L. 1983. Timber management a quantitative approach. John Wiley and Sons, New York. 333 p.
- FLORES R., L. J. 1983. Situación actual de los estudios de crecimiento en masas forestales en México. pp. 5-8. *In: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. Publicación Especial. Instituto Nacional Investigaciones Forestales No. 44. México.*
- KLEPAC, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2ª. Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. pp. 81-103.
- MAS P., J. 1970. Instructivo para realizar análisis troncales. Boletín Divulgativo. Instituto Nacional Investigaciones Forestales No. 23. México, 10 p.
- MAS P., J. 1984. Instructivo para el registro de datos para manejo silvícola de plantaciones forestales de clima templado y frío. Boletín Técnico Instituto Nacional Investigaciones Forestales. México. No. 67. 28 p.
- MENDOZA B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. *In: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. Publicación Especial. Instituto Nacional Investigaciones Forestales No. 44. México. pp.35-45.*
- RAMÍREZ M., H.; TORRES R., J. M. 1985. Análisis del desarrollo y estado actual de las experiencias prácticas y técnicas en la evaluación de plantaciones. *In: Tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales. Publicación Especial Instituto Nacional Investigaciones Forestales No. 48. México. pp. 35-43.*
- RAMÍREZ M., H. 1994. Construcción de modelos de crecimiento y su aplicación en el diseño de regímenes silvícolas. pp. 25-31 *In: Memoria del simposio de manejo y silvicultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.*
- RAMOS B., G.; ROMERO G., J. O. 1993. Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus* spp. en Perote, Veracruz. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 145 p.
- ZEPEDA B., E. M.; RIVERO B.; P. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencias Forestal*. 51: 3-38.