

**ÍNDICE DE SITIO PARA *Pinus herrerae*
Martínez EN
CD. HIDALGO, MICHOACÁN**

**SITE INDEX FOR *Pinus herrerae* Martínez AT
CIUDAD HIDALGO, MICHOACÁN**

**Oscar Mares Arreola*, Eladio Heriberto Cornejo
Oviedo, Salvador Valencia Manzo,
Celestino Flores López**

Departamento Forestal, División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Domicilio conocido, Buenavista. C.P. 25315. Saltillo, Coah. Tel: 01 (844) 411-0299 y 411-0396. Correo electrónico: sincero@latinmail.com

* Autor para correspondencia

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en la Región de Cd. Hidalgo, Michoacán, a través de análisis troncales de 34 árboles dominantes. Para determinar el índice de sitio se utilizó el método de la curva guía, probando los modelos de crecimiento de Chapman-Richards, Gompertz, Logístico y Schumacher. El mejor modelo fue el de Chapman-Richards, ya que presentó el valor más bajo de $CME=7.4891$ y el valor más alto de $R^2=0.9845$; además, los residuales estudentizados presentaron una distribución uniforme.

Palabras clave: *Pinus herrerae*, índice de sitio, análisis troncal, modelos de crecimiento

SUMMARY

The objective of this study was to determine the site index for *Pinus herrerae* Martínez at the forest region of Ciudad Hidalgo, Michoacán, México, using the data of 34 stem analysis of dominant trees. To determine the site index, the Chapman-Richards, Gompertz, Logistic and Schumacher growth models were tested using the guide curve method. The Chapman-Richards model was the best model since it showed the lowest value of $MSE=7.4891$ and the highest value of $R^2=0.9845$; in addition, the studentized residuals had constant variance resulting on an uniform distribution.

Index words: *Pinus herrerae*, site index, stem analysis, growth models

INTRODUCCIÓN

México es un país que cuenta con gran diversidad de recursos forestales (INEGI, 2000), específicamente del género *Pinus*, de las cuales se reportan 52 especies, lo cual representa 45 % de las especies de pino conocidas a nivel mundial (Styles, 1993). Pese a la alta diversidad del género *Pinus*, no se cuenta con suficiente información del potencial productivo de los bosques, por lo tanto, las decisiones de manejo y de aprovechamiento no siempre han sido las adecuadas (Aguilar, 1997; Layseca *et al.*, 1997). Al no clasificar la productividad del bosque se corre el riesgo de que los sitios con baja productividad se sobreexploten y sitios con alta productividad se desaprovechen.

Michoacán cuenta con una superficie de 1 540 493 ha de bosques de coníferas y latifoliadas (SEMARNAP, 1999). Los poseedores del recurso forestal en la región de Cd. Hidalgo, Mich. dependen económicamente de él, por lo que es importante realizar estudios de índice de sitio, que permitan clasificar los bosques con base en su productividad para definir los tratamientos silvícolas adecuados.

La determinación de la calidad de estación, es una de las principales actividades que un silvicultor debe realizar como parte de la información necesaria para conformar un plan de manejo del bosque (Quiñones *et al.*, 2002). La calidad de estación se define como una cualidad distintiva que indica en forma relativa, el grado de productividad de un lugar, bajo las condiciones imperantes en el momento en que se efectúa la estimación; además se refiere a la producción potencial de madera del sitio para una especie en particular (Clutter *et al.*, 1983).

El índice de sitio es el método más comúnmente empleado para definir la calidad de estación en virtud de que proporciona estimaciones precisas de la calidad de sitio, es de relativamente bajo costo y de fácil aplicación (Quiñones *et al.*, 2002). Además, se trata de un método indirecto que utiliza la relación edad-altura dominante. El índice de sitio se define como la altura máxima que alcanza un bosque o rodal de acuerdo al sitio donde se desarrolla y a una edad determinada o edad base. La edad base se puede fijar en el momento en que los incrementos corriente y medio anual se interceptan (Zepeda y Rivero, 1984). La altura de los árboles dominantes se utiliza como indicador de productividad ya que es la menos afectada por la densidad del rodal y el manejo, siempre y cuando las podas no sean intensas, además de que la altura de los árboles se relaciona más con la capacidad de producción de madera que cualquier otra variable del rodal (Alder, 1980).

No existe información en la región de Cd. Hidalgo sobre algún índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el índice de sitio para esta especie en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está ubicada en la subprovincia fisiográfica denominada Mil Cumbres, en la región de Cd. Hidalgo (Ucodefo-2, 1994). El área tiene una ubicación geográfica entre las coordenadas 19° 30' 35" a 19° 52' 27" de LN y 100° 41' 36" a 100° 47' 44" de LW (CETENAL, 1977 a, b, c). La altitud del área oscila entre 2 100 y 3 000 msnm. En la región ocurre un clima húmedo, templado, con verano fresco y largo; y subhúmedo con régimen de lluvias en verano; con menos de 5 % de lluvia invernal, con temperatura media anual que varía de 25 a 30 °C, con el mes más caliente del año antes de junio y con una precipitación media anual de 1250 mm (García, 1973). La vegetación está constituida por un bosque de pino-encino, además de diversas especies arbustivas y herbáceas (Martínez *et al.*, 1987).

Se realizaron dos recorridos de campo, del 1 al 6 de abril de 2002 y del 2 al 7 de diciembre de 2002, para reconocer el área de estudio y tomar decisiones con respecto a la metodología de trabajo. La captura y procesamiento de datos se realizó con Statistical Analysis System versión 6.12 (SAS, 1987) y se usaron técnicas de regresión con PROC NLIN y Sigma Plot (versión 7.0).

Se empleó el método de la curva guía para ajustar los modelos de crecimiento de Chapman-Richards, Gompertz, Logístico y Schumacher, al diagrama de dispersión de la relación edad-altura (n=568). La elección y prueba de los modelos se realizó siguiendo la metodología propuesta por Sit y Pulín-Costello (1994). La elección entre los modelos se fundamentó en los siguientes criterios: a) El valor más bajo del cuadrado medio del error (CME); b) El valor más alto del coeficiente de determinación (R²); c) El análisis de los residuales estudentizados (R-student); d) El análisis gráfico de la fidelidad con que los modelos representan los valores observados, al trazar cada modelo sobre las observaciones y comparar su ajuste; y e) El criterio de convergencia.

Con el modelo seleccionado se estimó la curva de crecimiento en altura, con la cual se calcularon los valores de incremento corriente y medio anual (ICA e IMA, respectivamente) para determinar una edad base a la cual se estimaron los índices de sitio. La edad base utilizada fue aquella donde la curva del ICA se interceptó con la curva del IMA (Zepeda y Rivero, 1984). La equidistancia entre las curvas de índices de sitio se determinó con base en los límites de confianza a 95 % de los valores individuales, res-

pecto a la curva guía y en función a la edad base. Se utilizaron cinco clases de calidad de estación, cuya amplitud fue de 3 m, pues clases con amplitudes menores no son adecuadas para estimar la calidad de sitio de un lugar (Zepeda y Rivero, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo que ajustó al crecimiento en altura para *Pinus herrerae* fue el de Chapman-Richards, ya que presentó el valor más bajo de CME=7.4891 y el valor más alto de R²=0.9845. Además, los residuales estudentizados presentaron una buena distribución y convergencia. Otros modelos que también destacan son el de Gompertz y el de Schumacher, por sus valores bajos de CME (7.7257 y 7.8588, respectivamente) y altos de R² (0.9840 y 0.9837, respectivamente), dichos valores son cercanos a los del modelo seleccionado. Además, los residuales estudentizados presentaron una buena distribución.

Sin embargo, un buen ajuste no necesariamente indica que el modelo representa la forma general de la relación entre la altura y la edad (Franco, 2001). Al sobreponer los valores observados de la edad y la altura con el ajuste de los cuatro modelos probados, el modelo de Chapman-Richards es el que representa en forma más adecuada la tendencia de los valores observados (Figura 1), ya que no subestima la altura en los años iniciales (2 a 10 años) o sobrestima la altura en edades mayores (84 a 110 años).

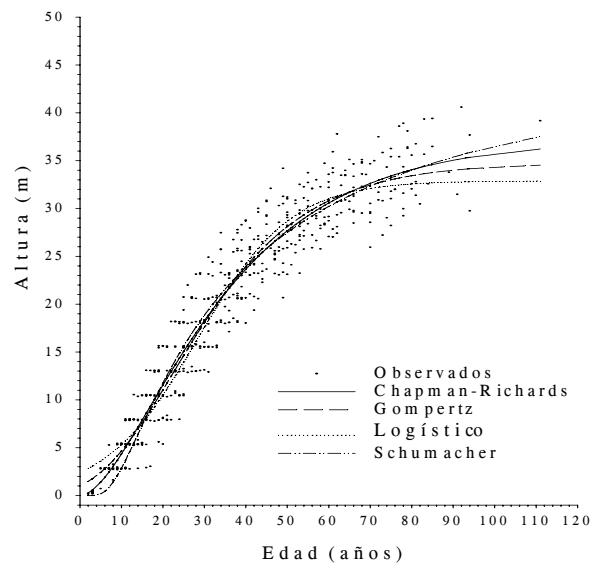


Figura 1. Diagrama de dispersión de la relación edad-altura y el ajuste de los modelos Chapman-Richards, Gompertz, Logístico y Schumacher, para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

Franco (Com. Pers.)¹ determinó el índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. con análisis troncales de 28 árboles y una base de datos de 268 pares de valores. El autor utilizó el método de la curva guía con el que probó los modelos de crecimiento de Schumacher, Chapman-Richards y Gompertz, y determinó que el mejor modelo para describir el crecimiento en altura fue el de Chapman-Richards con un CME=17.17 y una $R^2=0.87$. En este estudio el modelo de Gompertz fue el que presentó mejor ajuste estadístico, con un CME=17.08 y una $R^2=0.87$, pero sobrestima la altura en los primeros diez años. La metodología de ajuste para la selección de modelos usada por este autor es igual a la utilizada en el presente trabajo, pero el ajuste estadístico es diferente, dado que el tamaño de muestra ($n=268$ pares de valores) utilizado por Franco es menor al utilizado en el presente estudio ($n=523$ pares de valores).

Pereyra (Com. pers.)² determinó el índice de sitio para *P. montezumae*, en Cd. Hidalgo, Mich., mediante análisis troncales de 40 árboles dominantes y una base de datos de 634 pares de valores; el índice de sitio lo determinó por medio del método de la curva guía, probó los modelos de Chapman-Richards, Gompertz, Logístico, Schumacher y Potencial. El autor encontró que el modelo de Gompertz fue el que presentó el mejor ajuste para describir el crecimiento en altura (CME=11.14 y $R^2=0.97$). En el presente estudio y en el de Pereyra (Com. pers.)² se utilizó la curva guía y metodologías de ajuste similares, lo que dio como resultado que los valores obtenidos en los estadísticos fueran similares.

La edad base fue de 32 años y correspondió a un índice de sitio promedio de 19.46 m. Al considerar la edad base y los límites de confianza a 95 % de los valores individuales, se determinó un rango de altura de 13 a 25 m, lo que se tradujo en una equidistancia de tres metros entre curvas, y se obtuvieron cinco curvas anamórficas que representan cinco calidades de estación (Figura 2).

Pereyra (Com. pers.)² al usar el modelo de Gompertz determinó una edad base de 32 años, misma que utilizó para generar cinco curvas anamórficas de índice de sitio a una equidistancia de 3.5 m. La edad base que determinó este autor es igual a la que se determinó en el presente estudio, 32 años. También Pereyra utilizó el rango de dispersión de los valores de la altura observados a la edad base, para determinar la equidistancia entre curvas de índice de sitio.

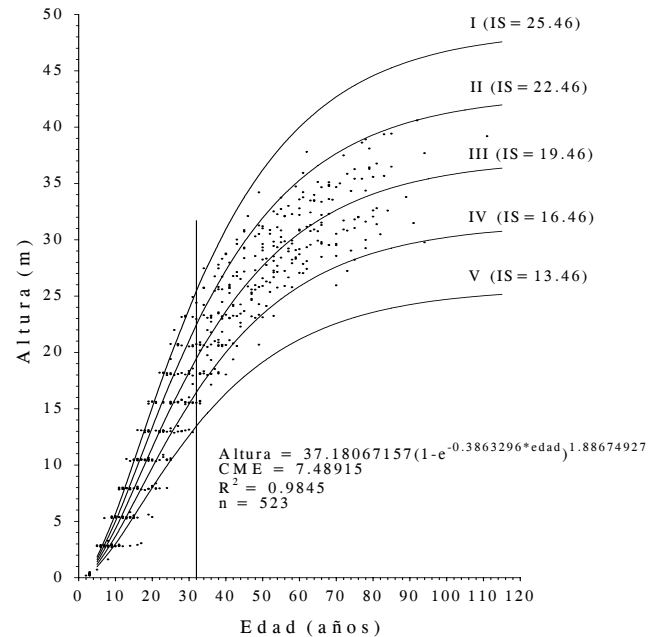


Figura 2. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez a una edad base de 32 años, en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

CONCLUSIONES

El modelo de Chapman-Richards fue el que presentó la mejor bondad de ajuste, además, fue el más apropiado para describir el crecimiento en altura de *Pinus herrerae* cuando la altura está en función de la edad. A partir de la aplicación de los límites de confianza de los valores individuales, la curva guía y la edad base, se definieron cinco curvas anamórficas de índice de sitio a una equidistancia de tres metros entre curvas. El modelo de Chapman-Richards puede emplearse para construir las curvas anamórficas de índice de sitio en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y a la Asociación de Permisionarios Forestales del Oriente de Michoacán, A. C., de Cd. Hidalgo, Mich., por el apoyo otorgado al proyecto de investigación institucional de la UAAAN 02.03.0207.2364 del cual formó parte el presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar R M (1997) Estudio del crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl. en la región central de Michoacán. Ciencia Forestal 22(81):41-70.

¹R C Franco A. Maestro en Ciencias Forestales. Comisión Forestal Estatal de Michoacán. Morelia, Mich.

²J A Pereyra G (2003) Ingeniero Forestal. Comisión Nacional Forestal. Chiapas.

- Alder D (1980)** Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. FAO. Montes. Estudio 22/2. Roma. 118 p.
- CETENAL (1977a)** Carta Topográfica. E14A15. Maravatío. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL (1977b)** Carta Topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc. 1:50,000. México.
- CETENAL (1977c)** Carta Topográfica. E14A25. Ciudad Hidalgo. Esc. 1:50,000. México.
- Clutter J L, J C Fortston, L V Peinar y G H Brister (1983)** Timber Management: a quantitative approach. Wiley and Sons. New York. USA. 333 p.
- García E (1973)** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- INEGI (2000)** Estadísticas del medio ambiente. México, 1999. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, 1997-1998. INEGI-SEMARNAT. Tomo I. México. 540 p.
- Layseca T M, S Monreal R, J Fernández M (1997)** Plantaciones Forestales Comerciales. Cuadernos Agrarios, Nueva época 6 (14): 110.
- Martínez M E, C G Ibarra, V A Hernández, F Lorea-Hernández (1987)** Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región de Los Azufres, Michoacán. Rev. Trace 12:22-37.
- Quiñones C A, R Alemán V, R Trujillo (2002)** Determinación de la calidad de sitio para cuatro especies de pino en el P. P. "Sierra del Nayar", municipio de Durango. Folleto Técnico Núm. 8. INIFAP. Durango. 27 p.
- SAS Institute Inc (1987)** SAS/STATM Guide for Personal Computers, Versión 6 SAS Institute Inc. Cary, N.C. 1028 p.
- SEMARNAP (1999)** Anuario Estadístico de la Producción Forestal 1997. México. 139 p.
- Sit V, M Poulin-Costello (1994)** Catalogue of curves for fitting. Biometrics Information. Handbook No. 4. Ministry of Forest Research Program. British Columbia. 110 p.
- Styles B T (1993)** Genus *Pinus* a Mexican purview. In: Biological diversity of México: Origins and distribution. R Bye, A Lot, J Fa (eds) Oxford University Press. New York, U.S.A. pp:397-420.
- Ucodefo-2 (Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 2) (1994)** Organización de la unidad. Ciclo 1994-1995. Cd. Hidalgo, Michoacán. 21 p.
- Zepeda B E M, P Rivero B (1984)** Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio. Ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia forestal 9(51):3-38.