

Nuevos modelos de predicción del incremento en volumen para bosques mezclados del Estado de Durango, México

J. L. Reyes-Muñoz^{1*}, O. A. Aguirre-Calderon¹, J. Jimenez-Perez¹, E. J. Treviño-Garza¹,
E. Jurado¹ y R. F. Gonzalez-Laredo²

¹ Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ctra. Nal., km 145.
67700. AP 441 Linares (Nuevo León). México

² Profesor-investigador. Instituto Tecnológico de Durango. Departamento de Ings. Química y Bioquímica.
Felipe Pescador, 1830 Ote. 34080 Durango. México

Resumen

Fueron evaluados 30 modelos para predecir el incremento maderable en 28 Sitios Permanentes de Investigación Silvícola (SPIS), ubicados en el Ejido Pueblo Nuevo del Estado de Durango, México. La asociación vegetal más predominante es la correspondiente a rodales mezclados de *Pinus* y *Pinus-Quercus*, además de la vegetación asociada a estos bosques. Los modelos en su forma logarítmica incorporan 10 índices de competencia (IC) independientes de la distancia, 3 índices de densidad (ID), además de las variables edad y altura a nivel promedio del rodal. Los nuevos modelos matemáticos relacionan de una manera indirecta el efecto de la competencia y la densidad en el crecimiento de los árboles presentes en el rodal. De acuerdo con los análisis de varianza y las pruebas de hipótesis realizadas, se encontró que los mejores IC incorporados en un modelo matemático para la predicción del incremento en volumen, fueron el índice de competencia de área basal densidad (IABN), índice de competencia de diámetro cuadrático densidad (IDCN), índice de competencia de área basal total densidad (IABTN) y el índice de competencia de altura total máxima (IHMAX). Los mejores modelos presentan un alto nivel de exactitud con $Prob > |t| = 0,0001$ y valores promedio de 0,99 en R^2 .

Palabras clave: crecimiento; índice de competencia; índice de densidad; índice independiente de la distancia; rodal.

Abstract

New models to predict of the increment in volume for mixed forests in the State of Durango, Mexico

Thirty models were evaluated to predict the timber yield in 28 Permanent Silvicultural Research Plots (SPIS), in the Ejido Pueblo, Durango, Mexico. The most predominant plant association is the corresponding to mixed stands of *Pinus* and *Pinus-Quercus*, besides the vegetation associated to these forests. The models in their logarithmic form incorporate 10 competition indexes (IC) independent of the distance, 3 indexes of density (ID), besides the variable age and height at the average level of the stand. The new mathematical models relate in an indirect way the effect of the competition and the density in the growth of trees present in the stand. According to the variance analyses and the hypothesis tests, it was found that the best IC incorporated in a mathematical model for the prediction of the increment in volume was the competition index of area basal density (IABN), the competition index of diameter quadratic density (IDCN), the competition index of area basal total density (IABTN) and the competition index of maximum total height (IHMAX). The best models present a high level of accuracy with $Prob > |t| = 0.0001$ and values average of 0.99 in R^2 . The best models presented average values of $R^2 = 0.99$ and a highly significant level of accuracy ($Pr > |t| = 0.0001$).

Key words: growth; competition index; density index; distance independent index; stand.

Introducción

Aunque la relación existente entre los factores que regulan el crecimiento no es ampliamente conocida, se acepta que el crecimiento de un árbol esta deter-

minado por la variedad de especies presentes, su edad, la calidad de sitio, el número de individuos por unidad de área y la competencia existente por la disponibilidad de recursos (Curtis, 1970). Por tal motivo, entender la relación competencia-densidad, contribuye a un mejor conocimiento sobre la dinámica de crecimiento de las masas forestales; lo cual, puede apoyar la prescripción de regímenes silvícolas que

* Autor para la correspondencia: jlreyes@pofepa.gob.mx
Recibido: 11-04-10; Aceptado: 10-01-11.

permitan manejar los bosques naturales de una manera sustentable.

Los Programas de Manejo Forestal (PMF), que sirven de base para el aprovechamiento forestal maderable en el Estado de Durango y en general para México, se elaboran en base a un inventario a partir del cual se extrapola la información al resto de la superficie de manejo forestal (rodal o subrodal); posteriormente, se determinan los volúmenes de cosecha en base a regímenes silvícolas que preestablecen las intensidades de corta a ejercer. Con esta misma base de datos obtenida en los inventarios para manejo forestal, se desarrolló una metodología que permite predecir dentro de límites aceptables el crecimiento de una masa forestal, mediante la cual es posible determinar el volumen de cosecha que puede obtenerse, sin poner en riesgo la permanencia del recurso forestal.

Índices de competencia (IC)

Los IC son una medida del efecto que producen los árboles vecinos en el crecimiento de un individuo dentro de un rodal (Vanklay, 1991). Dentro de la amplia variedad de clasificaciones existentes para árboles individuales, varios autores coinciden al señalar dos clases de modelos para IC: los dependientes de la distancia e independientes de la distancia (Munro, 1974). En los modelos independientes de la distancia cada árbol es modelado separadamente y su posición competitiva se determina comparando su diámetro individual, su altura y su condición con las características del rodal. Mientras que en los modelos dependientes de la distancia, además de la altura, diámetro y otras variables del árbol usadas en los modelos independientes de la distancia, cada árbol individual es literalmente mapeado para determinar la distancia y el tamaño de los árboles adyacentes que están compitiendo con el árbol sujeto de estudio por la disponibilidad de recursos.

En la literatura se reporta una amplia variedad de índices de competencia dependientes de la distancia, desde los que consideran la superposición de zonas de influencia (Staebler, 1951; Gerrard, 1969; Bella, 1971; Arney, 1973; Ek y Monserud, 1974), hasta los índices basados en las dimensiones de los árboles vecinos ponderados por la distancia (Hegyí, 1974; Martin y Ek, 1984; Daniels, 1976; Biging y Dobbertin, 1992; Álvarez Taboada, 1998). Los índices independientes de la distancia son fáciles de calcular y demandan menor cantidad de información, lo cual representa que tengan ven-

taja en algunos casos con respecto a los dependientes de distancia (Tomé y Burkhart, 1989). Glover y Hool (1979), desarrollaron un índice de competencia independiente de la distancia que considera simplemente las dimensiones del arbolado; tomando como base éste índice, se han desarrollado algunas ecuaciones que los consideran en modelos que simulan el crecimiento en altura o en diámetro para una especie en particular (Valles *et al.*, 1998, 2003; Valadez, 2003).

Algunos autores coinciden al señalar que los índices dependientes de la distancia son los más eficientes para predecir el crecimiento en bosques coetáneos; sin embargo, la importancia de los índices independientes de la distancia radica en que en México, los bosques naturales presentan una gran variedad de estructuras y especies, con medidas de competencia interarbórea que pueden ser la base para la generación de modelos de predicción del crecimiento (Torres-Rojo, 2000).

Índices de densidad (ID)

La densidad es una medida del grado de ocupación de un terreno forestal en particular, es un indicador del grado de aglutinamiento del arbolado presente, definido por el número de árboles y sus dimensiones; puede ser medida por el número de árboles por hectárea, el área basal, volumen por hectárea, cobertura de copas, grado de espesura y mediante diversos índices de densidad de rodal (Cano, 1998; Zepeda y Villarreal, 1987; Davis y Johnson, 1987; Zeide, 2005; Spurr, 1962).

Una de las razones para considerar la densidad de un rodal, se debe a que es una variable importante para predecir la forma, crecimiento y sobrevivencia de los árboles; medida importante para incrementar la productividad forestal mediante el control de la competencia entre árboles. En el presente estudio, se consideró como ID los obtenidos a partir del número de árboles por hectárea (NAPH), el área basal del año 2001 (G1) y el volumen de ese mismo año (VOL1).

Material y métodos

Descripción del área de estudio

El Estado de Durango, México, se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 26° 48' y 22° 19' de latitud norte, -107° 11' y -102° 28' de longitud oeste; la región forestal se ubica en el macizo montañoso deno-

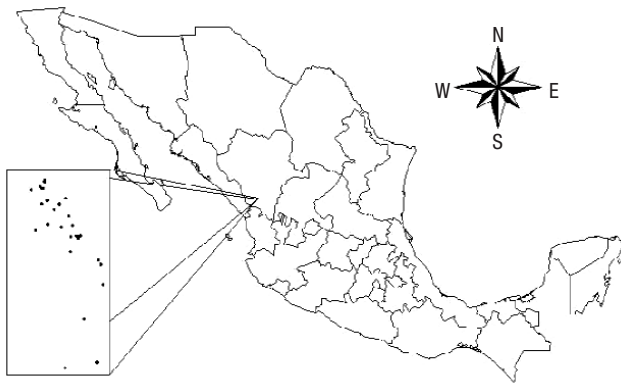


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

minado Sierra Madre Occidental, dentro de esta zona destaca por su productividad forestal maderable el Ejido Pueblo Nuevo, lugar donde se ubica el área de estudio (Fig. 1). Fisiográficamente se ubica en la subprovincia gran meseta y cañones duranguenses, la altura sobre el nivel del mar presenta un promedio ponderado de 2.130 metros, con un sistema de relieve predominantemente accidentado, con algunas superficies de terreno ondulado y plano. Según la clasificación climática de Köppen adaptada para México por García (1973), los climas predominantes en la región son del tipo C(W2) y C(E) (W2), que corresponden respectivamente al templado subhúmedo y semifrío subhúmedo, con lluvias en verano, con precipitación del mes más seco menor de 40 mm y porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10,2 mm, con temperaturas mínimas y máximas que pueden ser desde -18 hasta 32°C . Las comunidades vegetales más importantes del Predio están compuestas por bosques mezclados con especies del género *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas. Las especies maderables que destacan para el aprovechamiento forestal son: *Pinus herrerae*, *Pinus durangensis*, *Pinus douglasiana*, *Pinus lumholtzii*, *Pinus michoacana*, *Pinus leiophylla*, *Pinus oocarpa*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus maximinoi*, *Pinus teocote*, *Pinus cooperi*, *Pinus engelmannii*, *Quercus spp.*, *Juniperus spp.*, *Arbutus spp.*, y *Alnus spp.*, principalmente (Meraz, 2008).

Base de datos

En el año 2001 se estableció el SPIS (Sitio Permanente de Investigación Silvícola), con 29 sitios cuadrados de 50 por 50 m y una parcela útil de 30 por 30 m (dividida en cuatro cuadrantes de 15 por 15 m), cada sitio tiene una franja de protección de 10 m en su perímetro. Los sitios se establecieron en la mayoría de

los casos en bosques jóvenes de segundo crecimiento, con edades que oscilan entre 11 y 21 años, preferentemente en rodales de preaclareo, y de primero y segundo aclareo; sin embargo, también se encuentran sitios establecidos en rodales con edades mayores a 48 años en los que se representan los tratamientos silvícolas de tercer aclareo. De los 29 sitios establecidos originalmente se concluyó que 28 sitios se encontraban en buen estado para realizar la remediación correspondiente al año 2007, la cual arrojó datos referentes de incrementos por cada sitio (S) y cuadrante (C) en diámetro normal (DN), altura total (AT), número de árboles (NA), grosor de corteza (GC), vitalidad (V), sanidad (SAN), forma (F), posición (P), proyección de copa (PC), edad (E) y estado de desarrollo de cada árbol con respecto a la primera medición del año 2001.

Modelos matemáticos

Con los datos obtenidos en campo, en una primera fase los cálculos básicos por cada sitio y cuadrante se realizaron mediante el programa Microsoft Office Excel, mientras que en el análisis estadístico se realizó mediante regresión lineal múltiple utilizando el programa SAS 9.1® (Statistical Analysis System, 2009). Con los datos de la medición del año 2001, se consideraron solo las variables DN, AT y E para determinar el área basimétrica, volumen y edad para cada árbol; posteriormente, se obtuvieron los promedios a nivel cuadrante que generaron los índices de densidad NAPH (número de árboles por hectárea), G1 (área basimétrica del año 2001), VOL1 (volumen del año 2001), los que permitieron estimar cada uno de los índices de competencia que se señalan en la Tabla 1, mismos que fueron desarrollados a partir del índice de Glover y Hool (1979). La base de datos de la remediación del año 2007, solo sirvió de referencia para observar el incremento en volumen presentado por los árboles presentes en el SPIS.

Presentación de modelos matemáticos

Se evaluaron 30 modelos matemáticos en su forma logarítmica, en los cuales aparecen como una constante las variables edad (EDM) y altura total promedio del cuadrante (ATPP); mientras que el número total de los modelos, esta determinado por los tres índices de densidad considerados (NAPH, G1 y VOL1)

Tabla 1. Descripción de los índices de competencia independientes de la distancia evaluados

Nombre	Expresión matemática
1. Índice de competencia de área basal de Glover and Hool (1979)	$IABi = \frac{\left[\sum_{j=1}^n \left(\pi \left((D_j / 2)^2 \right) \right) / n \right]}{\pi (D_i / 2)^2}$
2. Índice de competencia de área basal densidad	$IABNi = \frac{\left[\sum_{j=1}^n \left(\pi \left((D_j / 2)^2 \right) \right) / n \right]}{\pi (D_i / 2)^2} (Arb. / Ha)$
3. Índice de competencia de diámetro cuadrático	$IDCi = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (D_j^2) \right]} / n}{(D_i / 100)}$
4. Índice de competencia de diámetro cuadrático densidad	$IDCni = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n (D_j^2) \right]}}{(D_i / 100)} (Arb. / Ha)$
5. Índice de competencia de área basal total	$IABTi = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\pi \left((D_j / 2)^2 \right) \right]}{\pi (D_i / 2)^2}$
6. Índice de competencia de área basal total densidad	$IABTni = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\pi \left((D_j / 2)^2 \right) \right]}{\pi (D_i / 2)^2} (Arb. / Ha)$
7. Índice de competencia de diámetro máximo	$IDMAXi = \left(\frac{D_j \max}{D_i} \right)$
8. Índice de competencia de altura total máxima	$IHMAXi = \left(\frac{HTj \max}{HTi} \right)$
9. Índice de competencia de área basal máxima	$IABMAXi = \frac{\pi \left((D_j \max / 2)^2 \right)}{\pi (D_i / 2)^2}$
10. Índice de competencia de volumen medio	$IVOLMi = \frac{\left[\sum_{j=1}^n Volj / n \right]}{Voli}$

D_i : diámetro normal del árbol sujeto a competencia. D_j : diámetro normal del árbol competidor. n : número de árboles dentro del cuadrante. $\pi = 3.14159$. Arb/Ha : número de árboles por hectárea. D_{max} : diámetro normal máximo del competidor «j» dentro de la parcela de muestreo. HTj_{max} : árbol con la altura máxima del competidor «j» en el cuadrante. HTi : altura total de cada árbol sujeto a competencia «i». $Volj$: es representado por el volumen para cada árbol competidor «j». $Voli$: es el volumen del árbol «i» sujeto a competencia.

que incorporan cada uno de los índices de competencia evaluados (Tabla 1). En la búsqueda de los mejores modelos, el proceso involucró la transformación y combinación de las anteriores variables independien-

tes, comparándose posteriormente su relativo desempeño; el modelo general se presenta a continuación:

$$Y = \beta_1 \cdot ID + \beta_2 \cdot E + \beta_3 \cdot ATPP + \beta_4 \cdot IC$$

Tabla 2. Estadísticos de regresión

Modelo	CME	Prob > F	R ²	CV
1. $LN Y = \beta_1 \cdot NAPH + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIABN$	0.12696	0.0001	0.9917	9.48
2. $LN Y = \beta_1 \cdot NAPH + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIDCN$	0.12869	0.0001	0.9916	9.54
3. $LN Y = \beta_1 \cdot NAPH + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIABTN$	0.11651	0.0001	0.9924	9.08
4. $LN Y = \beta_1 \cdot GI + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIABN$	0.08791	0.0001	0.9943	7.89
5. $LN Y = \beta_1 \cdot GI + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIDCN$	0.08865	0.0001	0.9942	7.92
6. $LN Y = \beta_1 \cdot GI + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIABTN$	0.07915	0.0001	0.9948	7.48
7. $LN Y = \beta_1 \cdot GI + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIHMAX$	0.24062	0.0001	0.9843	13.05
8. $LN Y = \beta_1 \cdot VOL1 + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LIABTN$	0.09900	0.0001	0.9935	8.37

donde:

Y = crecimiento en volumen ($m^3 ha^{-1}$) en 6 años

ID = índices de densidad (NAPH, G1 y VOL1)

EDM = edad promedio del cuadrante en años

$ATPP$ = altura total promedio por cuadrante en metros

IC = índices de competencia (IAB, IABN, IDC, IDCN, IABT, IABTN, IDMAX, IHMAX, IABMAX e IVOLM)

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 = parámetros a ser estimados

siguiente manera:

$$LN Y = \beta_1 \cdot ID + \beta_2 \cdot EDM + \beta_3 \cdot LATPP + \beta_4 \cdot LNIC$$

donde:

$LN Y$ = logaritmo natural del crecimiento en volumen ($m^3 ha^{-1}$) en 6 años

ID = índices de densidad NAPH, G1 y VOL1

EDM = edad promedio del cuadrante en años.

$LNATPP$ = logaritmo natural de la altura total promedio por cuadrante en metros

$LNIC$ = logaritmo natural de los índices de competencia IABN, IDCN, IABTN e IHMAX

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 = parámetros estimados

Resultados

Para la selección de los mejores modelos matemáticos, fueron considerados los estadísticos: cuadrado medio del error (CME), coeficiente de determinación (R^2), prueba de F y la prueba de hipótesis de los parámetros. Además, el nivel de exactitud de los parámetros y que no tuvieran problemas con el signo del estimador, de tal manera que sus valores reflejaran la dinámica natural de las variables independientes incluidas en el modelo. La mejor relación para representar de una manera aceptable el crecimiento en volumen para bosques mezclados, se expresa de la

En la Tabla 2, se presentan los grados de ajuste de los 8 mejores modelos obtenidos, con respecto a los valores en el estadístico R^2 se nota muy poca variación, explicando los modelos en promedio un 99% del crecimiento en volumen a nivel rodal para bosques mezclados. Lo anterior se confirma con lo señalado por Hokka *et al.* (1997), quienes indican que las mejores predicciones, por lo general, se encuentran en los modelos de tipo logarítmico, ya que reducen la varianza y mejoran el grado de ajuste. En relación a lo anterior, los mejores modelos independientes de la distancia estudiados por Martin y Ek (1984), presentaron R^2 máximos de 0.64.

Tabla 3. Estadísticos de pruebas de hipótesis y su grado de exactitud

Modelo	Estimador β_1	Estimador β_2	Estimador β_3	Estimador β_4	Prob > t
Modelo 1	0.00072175	-0.02757	1.28760	0.18763	0.0001
Modelo 2	0.00073997	-0.02735	1.32929	0.17696	0.0001
Modelo 3	0.00054960	-0.02651	1.23438	0.15738	0.0001
Modelo 4	0.05668000	-0.03301	0.63002	0.37700	0.0001
Modelo 5	0.05846000	-0.03232	0.66503	0.37038	0.0001
Modelo 6	0.04475000	-0.03107	0.81092	0.24339	0.0001
Modelo 7	0.05002000	-0.06283	2.02026	1.56419	0.0001
Modelo 8	0.00494000	-0.03766	0.66845	0.30721	0.0001

El R^2 y el CME nos indican cuales fueron los mejores índices para predecir el incremento en volumen. En cuanto a los índices de densidad considerados, se observa que el NAPH, G1 y VOL1, pueden ser buenos predictores dentro de un modelo; mientras que los mejores índices de competencia resultaron ser el índice de competencia de área basal densidad (IABN), índice de competencia de diámetro cuadrático densidad (IDCN), índice de competencia de área basal total densidad

(IABTN) y el índice de competencia de altura total máxima (IHMAX). La efectividad de los modelos se corrobora con los valores en el CME y su alto grado de significancia con $\text{Prob} > F = 0.0001$, mientras que los bajos valores en el coeficiente de variación (CV) nos indican muy poca sesgo de los modelos para describir los resultados esperados de la variable dependiente.

Con respecto a los estimadores de los parámetros, en la Tabla 3 se presenta el valor del parámetro y su ni-

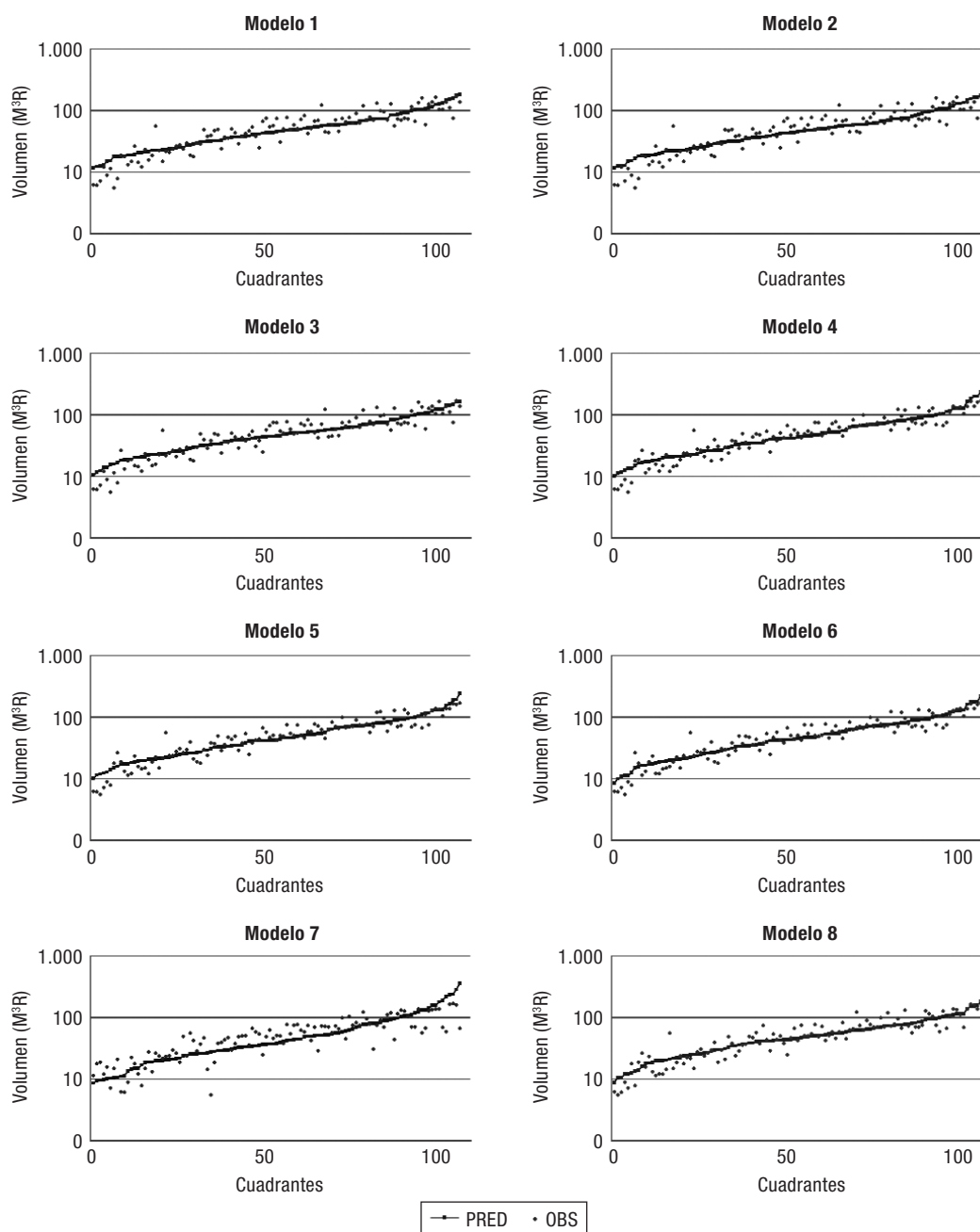


Figura 2. Gráficas de dispersión que relacionan los volúmenes observados y predichos.

vel de significancia ($\text{Prob} > |t|$). Para a este último estadístico, es de observarse que no existen diferencias significativas ya que todos los modelos presentan un alto nivel de exactitud con $\text{Prob} > |t| = 0.0001$. Las variables independientes de los modelos sugieren una alta asociación entre si, lo cual demuestra que contribuyen a estimar con precisión la variable dependiente, definida como el incremento en volumen para rodales que crecen de manera natural en bosques mezclados.

Discusión y conclusiones

Contrario a lo señalado por algunos autores quienes aseguran que en relación con los índices dependientes de la distancia, los índices independientes de la distancia no son tan eficientes como los primeros para predecir el crecimiento de los árboles; los resultados obtenidos en la presente investigación, demuestran que es posible modelar su crecimiento a nivel rodal, lo cual se corrobora en la Figura 2, en donde se observan las gráficas de dispersión de los valores observados y predichos con los modelos propuestos en el presente trabajo. En general los modelos presentan una ligera sobrestimación al inicio del crecimiento, la cual se equilibra posteriormente a lo largo de la curva. Solo en el modelo 7, se observa una mayor dispersión entre los volúmenes observados y predichos por el modelo; sin embargo, esta situación se considera aceptable dentro de los parámetros estadísticos obtenidos en el análisis de varianza.

Con base en los análisis de varianza practicados, se confirma la hipótesis de que el crecimiento en volumen de los bosques mezclados y su dinámica natural pueden ser modelados matemáticamente y que esto genera un conocimiento importante para predecir la productividad forestal. Además, los resultados obtenidos nos indican que el crecimiento del arbolado presente en un rodal, está determinado en gran medida por la calidad de sitio de un lugar en particular; sin embargo, la densidad y los niveles de competencia también influyen sustancialmente en el crecimiento de las masas forestales. Considerando lo anterior, las técnicas de manejo forestal que se aplican actualmente, pueden servir de base para incorporar modelos de simulación validados que permitan medir sus efectos y probar alternativas de manejo para lograr aprovechamientos forestales realmente sustentables.

Los 22 modelos restantes que se analizaron en la presente investigación no se comentan, y aunque presentaron un coeficiente de determinación igual o similar a los

modelos analizados, el nivel de significancia en los estimadores de sus parámetros fue de una exactitud menor.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca crédito otorgada al primer autor para realizar estudios de doctorado en Linares, Nuevo León, México. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y a la Unidad de Servicios Técnicos Forestales del Ejido Pueblo Nuevo, por permitir la realización de los trabajos de investigación de campo en el SPIS.

Referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ TABOADA M.F., 1998. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Proyecto fin de carrera. EPS, Lugo, Universidad de Santiago de Compostela.
- ARNEY J.D., 1973. Tables to quantifying competitive stress individual trees. Can For Serv Pac For Res Cent Inf Rep BC-X-78.
- BELLA L.E., 1971. A new competition model for individual trees. For Sci 17, 364-372.
- BIGING G.S., DOBBERTIN M., 1992. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. For Sci 38(3), 695-720.
- CANO C.J., 1998. El sistema de manejo regular en los bosques de México. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Méx. 224 pp.
- CURTIS R.O., 1970. Stand density measures: an interpretation. Forest Sci 16(4), 403-414.
- DANIELS, R.F., 1976. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. For Sci 22, 454-456.
- DAVIS L.S., JOHNSON K.N., 1987. Forest management, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company. pp. 1-166.
- EK A.R., MONSERUD R.A., 1974. FOREST: a computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species forest stands. Res Rep R2635, University of Wisconsin, College of Agriculture and Life Science. 90 pp.
- GARCÍA A.E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (adaptada para la República Mexicana). Instituto de Geografía, México DF. 246 pp.
- GERRARD D.I., 1969. Competition quotient: a new measure for the competition affecting individual forest trees. En: Michigan State University Agricultural Research Station. Research Bulletin 20, 1 -32.
- GLOVER G.R., HOOL J.N., 1979. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. For Sci 25, 275-282.

- HEGYI F., 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Growth models for tree and stand simulation (Fries J., ed). Royal College of Forest, Stockholm. pp. 74-90.
- HOKKA H., ALENUS V., PENTTILA T., 1997. Individual-trees basal area growth models for Scots Pine, Pubescent Birch and Norway Spruce on Drained Peatlands in Finland. *Silva Fennica*. 31(2), 161-178.
- MARTIN G.L., EK A.R., 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. *For Sci* 30, 731-743.
- MERAZ A.R., 2008. Modificación al programa de manejo forestal para el Ejido Pueblo Nuevo, Dgo. SEMARNAT-Durango. 6-32.
- MUNRO D.D., 1974. Forest growth models: a prognosis, in growth models for tree and stand simulation. Stockholm, Royal College of Forestry (Fries J., ed). Res Note 30, Dept Forest Yield. 7-21.
- SAS INSTITUTE INC. SAS® 9.1., 2009. User's guide. Cary, NC, USA.
- SPURR S.H., 1962. A measure of point density. *Forest Sci* 8(1), 85-96.
- STAEBLER G.R., 1951. Growth and spacing in an uneven-aged stand of Douglas Fir. University Mich. MF thesis. 100 pp.
- TOMÉ M., BURKHART H.E., 1989. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *Forest Sci* 35(3), 816-831.
- TORRES-ROJO J.M., 2000. El área de ocupación promedio: una medida de competencia independiente de la distancia. *Agrociencia* 34, 485-495.
- VALADEZ C.R.C., 2003. Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia para predecir el crecimiento de especies mezcladas en San Dimas, Dgo. Tesis de Licenciatura. UJED. 120 pp.
- VALLES G. A.G., GONZÁLEZ R.F., GALLEGOS I.A., TORRES-ROJO J.M., NÁVAR CH.J.J., ROCHA F.M., 2003. Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia con modelos de crecimiento en diámetro en *Pinus cooperi* Blanco. Resumen VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. SOMEREF. UASLP. 53-55.
- VALLES G.A.G., TORRES-ROJO J.M., VELÁZQUEZ M.A., RODRÍGUEZ F.C., 1998. Relación de nueve índices de competencia con el crecimiento en diámetro de *Pinus cooperi* Blanco. *Agrociencia* 32(3), 255-260.
- VANKLAY J.K., 1991. Review of competition indices: what have we learned, where should we use then and what additional research is required? Royal Veterinary and Agricultural University Thorvaldsensvej 57, DK-1871 Frederiksberg, Denmark. 19 pp.
- ZEIDE B., 2005. How to measure stand density. *Trees* 19, 1-14.
- ZEPEDA B.E.M., VILLARREAL D.M.E., 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii* Lindl. de Zoquiapan, Méx. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, Méx. 52 pp.