

EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE COMPETENCIA INDEPENDIENTES DE LA DISTANCIA PARA PREDECIR EL CRECIMIENTO DE BOSQUES MEZCLADOS EN SAN DIMAS, DURANGO

A. G. Valles-Gándara¹; R. C. Valadez-Castro²

¹INIFAP, Carretera Durango-Mezquital km. 4.5 A. P. 186, Durango, Dgo. C. P. 34000,
Tel. (01-618) 826-04-26. Correo e: agvalles@hotmail.com

²Escuela de Ciencias Forestales, Durango, Dgo. Tel (01-618) 824-53-04.
Correo-e: robval79@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar un grupo de doce índices de competencia, a través de modelos matemáticos ajustados con el procedimiento de mínimos cuadrados. Se estimó cada índice de competencia, independiente de la distancia, para conocer el estado competitivo de los árboles y masas forestales; ésta fue una relación numérica que muestra, de manera indirecta, la competencia por recursos limitados en el sitio, como son luz, agua y nutrientes, y que dichos recursos tienen una relación directa con el crecimiento y rendimiento de las especies forestales, que permiten obtener el mejor índice para especies mezcladas y evaluarlas con base en los estadísticos de ajuste y eficiencia de los estimadores, de acuerdo con la prueba de hipótesis practicada a los modelos matemáticos. De los índices evaluados, se encontró que el mejor de ellos, incluido en un modelo de predicción del incremento en diámetro, fue el índice de amplitud de copa por densidad (IACD), puesto que presentó los valores más altos en la prueba de ITI, con $T = -6.637$; además, en la prueba de hipótesis su nivel de exactitud fue altamente significativo, $P > ITI = 0.0001$.

PALABRAS CLAVE: modelos matemáticos, competencia, especies mezcladas.

EVALUATION OF DISTANCE INDEPENDENT COMPETITION INDEXES TO PREDIC THE GROWTH OF MIXED FOREST IN SAN DIMAS, DURANGO

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate a group of twelve competition indexes through mathematical models adjusted with the minimum square procedure to estimate each distance independent index of competition to know the competitive status of the trees and forest stand; being this was a numeric relationship that shows in an indirect way the competition for limited resources in that site like: light, water and nutritious and also that both resources have a direct relationship with the growth and yield of the forest species, allowing us to obtain the best index for mixed species and to evaluate them based on their adjustment statistics and the efficiency of the estimators according to the hypothesis test practiced in the mathematical models. Of all evaluated indexes it was shown that the best index which was included in a model of prediction of the increment in diameter, was the index of crown width for density (IACD) because it presented the highest values in the test of ITI, with $T = -6.637$, also in the hypothesis test its level of accuracy, was highly significant $Prob. > ITI = 0.0001$.

KEY WORDS: mathematical models, competition, mixed species.

INTRODUCCIÓN

En la aplicación del manejo forestal es indispensable realizar una predicción del crecimiento y rendimiento del bosque para definir su comportamiento a través del tiempo. Por ello, la mejor alternativa es modelar el crecimiento y rendimiento empleando modelos de árboles individuales que pueden ser dependientes o independientes de la distancia, para medir la competencia que ejercen los árboles vecinos más próximos. Dicha predicción del crecimiento se obtiene usando modelos a nivel rodal y aplicándolos a masas regulares. En masas irregulares, la predicción del crecimiento y el rendimiento resultan más complejos; por lo tanto, los modelos a nivel rodal pueden no ser exactos debido a que existe una variación de edades, estructuras y distribuciones de tamaños y espacios de crecimiento, lo que dificulta su predicción.

En países como Estados Unidos de América, Canadá y otros, se ha desarrollado una variedad de formas para medir la competencia, incluyendo metodologías que consideran el muestreo puntal (Spurr, 1962), los parámetros de la copa del árbol (Newham y Smith, 1964), los espacios de crecimiento poligonales (Brown, 1965), la sobreposición de zonas de influencia (Arney, 1973), la estimación de las dimensiones y distancias de los vecinos próximos (Hegyí, 1974), o simplemente las dimensiones del arbolado (Glover y Hool, 1979). Ejemplos de tales aplicaciones se encuentran en Daniels *et al.* (1986); Brand y Magnussen (1989), Tome y Burkhart (1989), Biging y Dobbertin (1992), Biging y Dobbertin (1995), Gerhardt (1996), Makinen y Colin (1999), Ledermann y Stage (2001) y Valles *et al.* (2002).

El objetivo de este estudio fue evaluar un grupo de índices de competencia, independientes de la distancia, que permita obtener los mejores índices para especies mezcladas y evaluarlos con base en los estadísticos de ajuste y eficiencia de los estimadores, de acuerdo con la prueba de hipótesis practicada en los modelos matemáticos, con el fin de que en un futuro se generen modelos de simulación para especies mezcladas con amplia aplicación en los bosques del estado de Durango.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Durango, a una distancia aproximada de 197 km, dentro del ejido Vencedores, en el punto denominado "Meza Verde", del municipio de San Dimas, Dgo. De acuerdo con Soto (1990), su fisiografía está constituida por mesetas y cañadas, con un sistema de relieve de sierra con laderas definidas u onduladas, definiéndose tres tipos: accidentada, ondulada y plana. El tipo de suelo está, en 75 % de la superficie total, conformado por asociaciones de: cambisol-éutrico, litozol, regosol-éutrico, feozem-

háplico, luvisol-crómico, según clasificación de la FAO–UNESCO adaptada para México por DETENAL, 1972. El clima de la región es de tipo C(E)(W), el cual corresponde al clima templado semi-frío sub-húmedo con lluvias en verano. Agrupa a los subtipos más húmedos de los templados semi-fríos sub-húmedos, con precipitaciones del mes más seco de 40 mm, según clasificación de Köppen modificada por García (1973). Las temperaturas mínimas y máximas van de -3 a 32 °C, respectivamente. La vegetación está conformada por especies de coníferas en asociación con especies del género *Quercus*, encontrándose algunas arbustivas. Con relación al bosque de pino, las especies que destacan son: *Pinus engelmannii*, *P. cooperi*, *P. teocote*, *P. lumholtzii*, *P. ayacahuite*, *P. durangensis* y *P. Leiophylla*.

Base de datos

La obtención de datos se efectuó con base en la metodología de sitios permanentes de investigación silvícola (Manzanilla, 1980). La medición de los sitios se inició en el mes octubre del año 1998, con el establecimiento de una red de sitios permanentes. Los sitios fueron establecidos por personal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en colaboración con la Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 4 "La Victoria-Miravalles" (UCODEFO No. 4). El establecimiento inició bajo el proceso de planeación estratégica, donde se consideraron los aspectos ecológicos del bosque, la distribución de las especies, los tipos de exposición, las pendientes y la estructura del dosel, además de las distintas clases de desarrollo del bosque. La base de datos se integró con 12 sitios permanentes de investigación silvícola (SPIS). Los sitios son circulares, con una superficie de 2,000 m². La parcela central es de 1,000 m² (radio de 17.84 m) y una franja de protección de 7.39 m. Los formatos de campo empleados para esta investigación consideran nueve variables de control del sitio y 21 variables a nivel árbol las cuales se describen como sigue: cuadrante (C), número progresivo (NP), clave o número de árbol (CL), especie (Sp), diámetro normal (DN), diámetro tocón (DT), altura total (AT), altura del fuste (AF), edad (ED), grosor de corteza (GC), vigor (VI), sanidad (SAN), posición (P), forma (F), proyección copa noreste (PCNE), proyección copa sureste (PCSE), proyección copa suroeste (PCSO), proyección copa noroeste (PCNO), tipo de árbol (T), incremento en cinco años (INC) y tiempo de paso (TP).

Remediación de sitios permanentes

La remediación se realizó en el año 2002, cuatro años después de su establecimiento, como lo especifica la metodología según (Manzanilla, 1980), Este trabajo lo llevó a cabo personal del Instituto Tecnológico Forestal No. 1, de El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo. (ITF No. 1), y en colaboración con personal de la Escuela de Ciencias Forestales (ECF) de la UJED. Dicho personal fue capacitado y asesorado por personal del INIFAP, en Durango.

Estimación de índices de competencia

Con el objeto de evaluar y obtener índices de competencia independientes de la distancia para la predicción del crecimiento para especies mezcladas, se procedió a la captura y procesamiento de datos de campo mediante el programa SAS, usando datos de las mediciones de 1998 y 2002. Se consideraron 25 variables,

21 de ellas corresponden al establecimiento y medición; posteriormente, las cuatro variables siguientes se agregaron para la remediación del año 2002: diámetro normal (DN 02), diámetro tocón (DT 02), altura total (AT 02) y altura fustal (AF 02). Con base en dicha información de los sitios permanentes, se procedió a estimar cada uno de los índices que se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Descripción de índices de competencia independientes de la distancia evaluados para estimar la competencia en bosques mezclados.

Índice de competencia	Ecuación
área basal de Glover y Hool (IAB)	$IAB_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^n \pi (D_j / 2)^2 \right] / n}{\pi (D_i / 2)^2}$
área basal densidad (IABD)	$IABD_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^n \pi (D_j / 2)^2 \right] / n}{\pi (D_i / 2)^2} (D)$
altura media (IAM)	$IAM_i = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^n AT_j \right) / n \right]}{AT_i}$
altura media densidad (IAMD)	$IAMD_i = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^n AT_j / n \right) \right]}{AT_i} (D)$
diámetro cuadrático (IDC)	$IDC_i = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n \frac{D_j^2}{n} \right]}}{(D_i / 100)}$
diámetro cuadrático densidad (IDCD)	$IDCD_i = \frac{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n \frac{D_j^2}{n} \right]}}{(D_i / 100)} (D)$
longitud de copa (ILC)	$ILC_i = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^n AT_j - AF_j \right) / n \right]}{LC_i}$
longitud de copa densidad (ILCD)	$ILCD_i = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^n AT_j - AF_j \right) / n \right]}{LC_i} (D)$
amplitud de copa (IAC)	$IAC_i = \frac{\left\{ \sum_{j=1}^n [(C_{mj} + C_{rsj} + C_{rej} + C_{roj}) / 4] \right\} / n}{(C_{mi} + C_{rsi} + C_{rei} + C_{roi}) / 4}$
amplitud de copa (IACD)	$IACD_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^n [(C_{mj} + C_{rsj} + C_{rej} + C_{roj}) / 4] / n \right]}{(C_{mi} + C_{rsi} + C_{rei} + C_{roi}) / 4} (D)$
área basal total (IABT)	$IABT_i = \frac{\sum_{j=1}^n \pi (D_j / 2)^2}{\pi (D_i / 2)^2}$
competencia de volumen medio (IVM) ^N	$IVM_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^n Vol_j / n \right]}{Vol_i}$

^Níndice de competencia desarrollado en esta investigación; D es el diámetro normal del árbol sujeto a competencia (cm); D_j es el diámetro normal de árbol competidor (cm); "n" es el número de árboles competidores dentro de la parcela, D es representado por la densidad de árboles por hectárea dentro de la parcela de muestreo, AT_j es la altura total de árboles competidores "j"; AT_i es la altura total del árbol sujeto a competencia, AF_j altura de fuste limpio del árbol competidor "j"; AT_i altura total del árbol competidor, C_{mj}, C_{rsj}, C_{rej} y C_{roj} radio de copa norte, sur, este u oeste para el árbol "j" sujeto a competencia, C_{mi}, C_{rsi}, C_{rei} y C_{roi} el radio de copa norte, sur, este u oeste para el árbol competidor "j"; Vol_j es el volumen del árbol "j" sujeto a competencia. Vol_i es representado por el volumen para cada árbol competidor "j".

Modelos de crecimiento en diámetro

De un grupo de modelos de crecimiento en diámetro fueron seleccionados los mejores y empleados para evaluar los índices de competencia y predecir el incremento en diámetro para especies mezcladas, son presentados por las ecuaciones 1 y 2, evaluados en dos familias; en una, ponderado por el factor de crecimiento promedio de la especie la cual se describe por la ecuación 1; y en la ecuación 2, se ponderó por el factor de crecimiento por la especie, por la edad promedio de los árboles dentro de la parcela, siendo ajustados por medio del Sistema de Análisis Estadístico (SAS).

$$\Delta D = \beta_1 Dn + \beta_2 (IC) + \beta_3 (IS) + \beta_4 (FCDE) \dots \quad (1)$$

$$\Delta D = \beta_1 Dn + \beta_2 (IC) + \beta_3 (IS) + \beta_4 (FCDEE) \dots \quad (2)$$

Donde: D: Incremento en diámetro en 4 años (cm); Dn: Diámetro normal a la altura de 1.30 m; IC: Índices de competencia: IAB, IABD, IAM, IAMD, IDC, IDCD, ILC, ILCD, IAC, IACD, IABT e IVM; IS: Índice de sitio a una edad base de 50 años; FCDE: Factor de crecimiento en diámetro para la especie; FCDEE: Factor de crecimiento en diámetro para la especie por la edad media y $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ y β_4 : parámetros a estimar.

Selección de índices de competencia

La selección del mejor índice de competencia se realizó con base en los estadísticos del análisis de varianza, obtenido en los modelos de crecimiento en diámetro. En ambas familias de modelos, las variables diámetro normal (dn), índice de sitio (IS) y factor de crecimiento de la especie (FCDE) fueron constantes, lo único que varió dentro del modelo fue el índice de competencia. De acuerdo con lo

que recomienda Daniels (1976) es la técnica de evaluación de índices de competencia; es decir, incluidos en modelos de crecimiento y conocer su respuesta y grado de exactitud. Los estadísticos empleados para evaluar los índices fueron el cuadrado medio del error (CME), el coeficiente de determinación (R^2), la prueba de F y la prueba de hipótesis de los parámetros (β_n).

RESULTADOS

Como se mencionó en el apartado de Materiales y Métodos, se estudiaron un total de doce índices de competencia independientes de la distancia y se evaluaron a través de modelos de crecimiento, empleando el procedimiento de cuadrados mínimos ordinarios.

En el Cuadro 2 se sintetizan los estadísticos más relevantes del grupo de modelos de las familias 1F y 2F empleados para estudiar los doce índices de competencia. En dicho Cuadro se aprecia que el R^2 y el CME muestran una ligera variación en sus valores con respecto a los valores de la segunda familia "2F". Lo anterior pudiera evidenciar que la familia 1F ofrece una menor eficiencia para modelar el crecimiento en diámetro para especies mezcladas. Sin embargo, con relación a la misma familia de modelos 1F, se ha encontrado que los estimadores β_4 no fueron significativos en ninguno de los casos. En cuanto a la familia 2F, el estadístico de R^2 aumentó en todos los índices de competencia estudiados, esto puede atribuirse al hecho de que los 12 índices son independientes de la distancia. Por lo tanto, los valores más altos corresponden al índice de longitud de copa densidad (ILCD), el índice de amplitud de copa (IAC) y el índice de amplitud de copa densidad (IACD), con R^2 de 0.4836, 0.4878 y 0.4890, respectivamente.

Respecto a la eficiencia de los estimadores, en el Cuadro 3 se presentan los valores del estimador del

CUADRO 2. Valores de R^2 y CME de las familias 1F y 2F de modelos de incremento en diámetro según su índice de competencia en especies mezcladas.

Índice de competencia (ID)	Modelo 1F		Modelo 2F	
	R^2	CME	R^2	CME
De área basal (IAB)	0.4720	0.97559	0.4840	0.95345
De área basal densidad (IABD)	0.4743	0.97140	0.4783	0.96402
De altura media (IAM)	0.4717	0.97630	0.4787	0.96324
De altura media densidad (IAMD)	0.4722	0.97538	0.4799	0.96114
De diámetro cuadrático (IDC)	0.4719	0.97581	0.4793	0.96212
De diámetro cuadrático densidad (IDCD)	0.4742	0.97158	0.4825	0.95634
De longitud de copa (ILC)	0.4762	0.96787	0.4800	0.96082
De longitud de copa densidad (ILCD)	0.4763	0.96781	0.4836	0.95429
De amplitud de copa (IAC)	0.4861	0.94952	0.4878	0.94652
De amplitud de copa densidad (IACD)	0.4787	0.96335	0.4890	0.94429
De área basal total (IABT)	0.4741	0.97180	0.4782	0.96430
De volumen medio (IVM)	0.4765	0.96737	0.4898	0.94281

parámetro β_2 , el estadístico de ITI y su nivel de significancia ($P > ITI$). Respecto al signo del estimador, se observa que los índices de área basal Glover y Hool (IAB), de altura media (IAM), de diámetro cuadrático (IDC) e índice de volumen medio (IVM), son los que presentan el signo incorrecto, ya que la pendiente del modelo debe ser negativa, puesto que a medida que los árboles alcanzan mayor competencia, su crecimiento periódico en diámetro decrece. Respecto a los otros ocho índices que presentan el signo correcto, se aprecia que sólo cuatro de ellos muestran un nivel significativo ($P > 0.0001$): siendo el índice de diámetro cuadrático por densidad (IDCD), índice de longitud de copa por densidad (ILCD), el índice de amplitud de copa por densidad (IACD) y el índice de amplitud de copa (IAC).

Se considera que la prueba más exacta para definir el mejor parámetro en un modelo de regresión, es la prueba de "T" y de acuerdo con lo que se aprecia en el Cuadro 3, se infiere que los dos mejores índices de competencia son el índice de amplitud de copa (IAC) y el índice de amplitud de copa densidad (IACD), puesto que arrojaron los mayores valores de "T", con -6.279 y -6.637, respectivamente.

DISCUSIÓN

Se empleó el estadístico (R^2) para calificar índices de competencia, criterio recomendado por Tome y Burkhardt (1989). Los autores estudian el índice de volumen medio y deducen que dicho índice no fue eficiente para estimar la competencia, lo cual concuerda con lo encontrado en esta investigación. En este caso no fue eficiente para estimar la competencia en bosques mezclados e irregulares.

Se discutió en el análisis la varianza de los modelos, apoyados en los criterios usados por Opie (1968), Martin y Ek (1984), Biging y Dobbertin, (1992). Los valores más

bajos correspondieron a los índices de longitud de copa densidad (ILCD), amplitud de copa (IAC) y de amplitud de copa densidad (IACD), lo cual permite deducir que los parámetros de copa y la densidad misma, dentro de una parcela de muestreo, son los que determinan el estatus de competencia en bosques mezclados y no tanto las variables de dimensiones y tamaños.

El comportamiento de los índices de competencia, cuando se trata de una sola especie, expresa relaciones diferentes. Por ejemplo, el parámetro de densidad (número de árboles por hectárea) no es tan eficiente reflejado en un índice de competencia, de acuerdo con lo encontrado por Valles *et al.* (2002), ya que lo han estudiado en múltiples ocasiones, en *Pinus cooperi*, donde dichos índices no mejoraron al adicionarles la densidad de la población. Los autores han encontrado mejores relaciones empleando variables asociadas a la poda natural, como es el caso de la longitud de copa viva, y discutiendo que cada índice se comporta de manera diferente dependiendo de la especie, ya que cada especie cuenta con cierto grado de tolerancia e intolerancia a bajas tasas de iluminación y, por lo tanto, cada especie tiene un comportamiento particular.

En el caso específico del mejor índice encontrado en esta investigación, con referencia al índice de amplitud de copa ponderado por densidad (IACD), se asume que su mejora se puede atribuir a que los parámetros de copa son más eficientes para estimar la competencia en bosques mezclados y que al ponderarlo por la densidad de la población lo hace más eficiente, caso que concuerda con lo encontrado por Biging y Dobbertin (1995), en estudios similares realizados en bosques de California. Finalmente, se puede indicar que los índices de competencia independientes de la distancia son también buenos predictores para modelar el crecimiento de árboles individuales y que esto concuerda con lo referido por Daniels *et al.* (1986).

CUADRO 3. Valores del parámetro β_2 y grado de significancia en modelos de crecimiento en diámetro de la mejor familia "2F" para especies mezcladas.

Índice de competencia	β_2	T para H_0	$P > T $
Índice de área basal Glover y Hool (IAB)	0.1319840	5.018	0.0001
Índice de área basal por densidad (IABD)	-0.0000421	-1.960	0.0501
Índice de altura media (IAM)	0.1770320	2.324	0.0202
Índice de altura media por densidad (IAMD)	-0.0000871	-3.099	0.0020
Índice de diámetro cuadrático (IDC)	0.0029370	2.764	0.0058
Índice de diámetro cuadrático por densidad (IDCD)	-0.0000014	-4.392	0.0001
Índice de longitud de copa (ILC)	-0.1009630	-3.202	0.0014
Índice de longitud de copa por densidad (ILCD)	-0.0000743	-4.844	0.0001
Índice de amplitud de copa (IAC)	-0.4455110	-6.279	0.0001
Índice de amplitud de copa por densidad (IACD)	-0.0001560	-6.637	0.0001
Índice de área basal total (IABT)	-0.0015490	-1.814	0.0699
Índice de volumen medio (IVM)	0.0411390	6.866	0.0001

CONCLUSIONES

El mejor índice de competencia para estimar el crecimiento en diámetro, en bosques mezclados, resultó ser el índice de amplitud de copa ponderado por densidad (IACD).

El índice IACD establece las bases para que, en el futuro, se desarrollen modelos de simulación del crecimiento para bosques mezclados e irregulares aplicables al norte de México.

LITERATURA CITADA

- ARNEY, J. D. 1973. Tables for quantifying competitive stress individual trees. Can. For. Serv. Pac. For. Res. Cent., Inf. Rep. BC-X-78.
- 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.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. For. Sci. 4: 360-377.
- BRAND, D. G.; MAGNUSSEN, S. 1989. Asymmetric, two sided competition in even monocultures of Red pine. Can. J. For. Res. 18: 901-910.
- BROWN, G. S. 1965. Point density in stems per acre. N.Z. Forest Res. Notes No. 38.
- DANIELS, R. F. 1976. Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth. For. Sci. 22: 454-456.
- DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. 1986. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. Can. J. For. Res. 16: 1230-1237.
- DENTAL, 1972. Modificación al Sistema de Unidades FAO-UNESCO 1968, por Dental, México, D. F.
- GARCÍA, A. E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (adaptada para la República Mexicana). Instituto de Geografía. México, D. F. 246 p.
- GERHARDT, K. 1996. Effects of root competition and canopy openness on survival and growth of tree seedlings in a tropical seasonal dry forest. For. Ecol. Manage. 71: 33-48.
- 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. In: J. Fries. ed. Royal College of Forestry, Stockholm. Sweden. 74-90.
- LEDERMAN, T.; STAGE, A. R. 2001. Effects of competitor spacing in individual tree indices of competition. Can. J. For. Res. 31: 2143-2150.
- MAKINEN, H.; COLIN, F. 1999. Predicting the number, death, and self pruning of branches in Scots pine. Can. J. For. Res. 29: 1125-1236.
- MANZANILLA B., H. 1980. Los sitios permanentes de investigación silvícola del INIF. SARH-INIFAP. México, D. F. 68 p.
- 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.
- NEWHAM, R.M.; SMITH, J.H.G. 1964. Development and testing of stand models for Douglas-Fir and Lodgepole pine. For. Chron. 40: 492-502.
- OPIE, J. E. 1968. Predictability of individual tree growth using various definitions of competing basal area. For. Sci. 14: 314-323.
- ROMERO G., E. 1993. Análisis del crecimiento de *Pinus patula* Schl. et Cham. en diferentes niveles de competencia intraespecífica, en Huayacocotla, Ver. Tesis M. C. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Méx. 192 p.
- SOTO R., J. 1990. Programa de manejo forestal para el Ejido Definitivo Vencedores Municipio de San Dimas, Dgo. UCODEFO No. 4 "La Victoria-Miravalles" p. 5-35.
- SPURR, S.H. 1962. A measure of point density. For. Sci. 8(1): 85-96.
- TOME, M.; BURKHART, H. E. 1989. Distance dependent competition measures for predicting growth of individual trees. For. Sci. 35: 816-831.
- VALLES G., A. G.; GONZALEZ, L. R. F.; GALLEGOS, I. A.; NAVAR, CH. J. J.; TORRES, R. J. M. 2002. Evaluación de índices de biocompetencia a través de un modelo biopredictivo en bosques naturales en Durango. Simposio Nacional Sobre Biotecnología. ITD-Durango. Méx. 78 p.