

NOTA TÉCNICA

ÍNDICES DE COMPETENCIA DEPENDIENTES DE LA DISTANCIA EN BOSQUES DE CONÍFERAS DE PUEBLO NUEVO, DURANGO

Dorian de Jesús Pimienta De la Torre¹, Oscar A. Aguirre Calderón¹
y Javier Jiménez Pérez¹

RESUMEN

La competencia entre los árboles ocurre cuando la disponibilidad de recursos cae por debajo de la suma de los requerimientos de la población para el crecimiento óptimo. De manera indirecta, los índices de competencia (IC) estiman el estrés que se establece entre los árboles por acceder a la luz, al bióxido de carbono, al agua y a los nutrimentos; esta información, incorporada a un modelo de predicción, hace posible calcular su crecimiento y mortalidad. El objetivo del presente estudio fue evaluar índices de competencia dependientes de la distancia con el auxilio de modelos de crecimiento, ajustados por regresión no lineal, para obtener los más convenientes para los bosques de coníferas. La selección se basó en los estadísticos del análisis de regresión a partir de los modelos de crecimiento con diferentes índices, para observar su respuesta y grado de exactitud. Los resultados indican que los mejores IC incluidos en un modelo de predicción del incremento en área basal (lg) fueron dos: 1) el denominado del área de copa, en el que se ajustaron los modelos de crecimiento de Fresse seguido por el de Korf (coeficiente de determinación (R^2)= 0.2344, un cuadrado medio del error (CME) =0.000000160 y valor de F = 424.4658) y 2) el índice de Biging y Dobbertin, cuyo modelo logarítmico presentó en los estadísticos de ajuste, R^2 = 0.2438, CME = 0.000000183 y valor de F = 624.55

Palabras clave: Área de copa, bosques de pino, coníferas; Durango, índices de competencia, modelos de crecimiento.

Fecha de recepción 22 de diciembre de 2005

Fecha de aceptación 15 de octubre de 2007

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Correo-e: djpimient@hotmail.com

ABSTRACT

Competition among trees occurs when the availability of resources is lower than the sum of requirements of the population for its optimum growth. Indirectly, Competition Indexes (IC) estimate stress among trees when trying to get light, carbon dioxide, water and nutrients; if these data are put into a prediction model, they can evaluate growth and mortality. The purpose of this study was to determine distance dependent competition models, supported by non-linear regression, in order to obtain the most accurate option for conifer forests. The choice was based upon the statistical values from the growth models of the regresión analysis of different indexes, in order to observe the best response and degree of accuracy. The choice was based upon the statistical values from the growth models of the regresion analysis of different indexes and thus obtain the best response and degree of accuracy. Results show that two were the best indexes included in a prediction model of the basal area (lg): 1) the so-called crown area index, in which Fresse growth model followed by Korf's was adjusted ($R^2 = 0.2344$; $SME = 0.000000160$; $F = 424.4658$) and 2) Biging y Dobbertin index, whose logarithmic model values were $R^2 = 0.2438$, $SME = 0.000000183$ and $F = 624.55$

Key words: Crown area, pine forest, conifers, Durango, competition indexes, growth models.

Los árboles requieren luz, bióxido de carbono, agua y minerales para vivir y hacen mucho más que incrementar su volumen cuando crecen, pues tienen la capacidad de responder y ajustarse a cambios en su ambiente, que se manifiesta en patrones de dinámica muy variados. No se conocen muchos de los detalles de cómo se regulan estos procesos de adaptación, pero se acepta que uno de los factores que más influye sobre el crecimiento de un árbol es la interacción espacial con otros árboles (Waring y Running, 1998).

La interacción espacial no debe entenderse sólo como un proceso antagónico, que es lo que, por lo general, habitualmente se asume cuando se usa el término "competencia", sino que provoca situaciones que favorecen a todos los árboles afectados, como la protección o adaptación mutua al medio (Trepl, 1994). A menudo se define como la obstrucción física al desarrollo de otro árbol que está tan próximo como para limitar la expansión de su copa (Gadow y Hui, 1999). La competencia entre los árboles se verifica cuando la disponibilidad de recursos cae por debajo de la suma de las demandas de la población para el crecimiento óptimo (Brand y Magnussen, 1988).

Los índices de competencia estiman de manera indirecta, a través de relaciones específicas, el estrés entre árboles por recursos tales como luz, CO_2 , agua y nutrientes, los que incorporados en un modelo de predicción, evalúan el crecimiento de los árboles y su mortalidad (Valles e Islas, 2000).

Los índices hacen posible proyectar el crecimiento de los árboles en el rodal forestal con base en la competencia ahí presente, que se expresa en valores relativos, como la relación del área basal del rodal con la de cada árbol dentro de una zona de competencia, ya sea con ciertos atributos de los árboles, como longitudes y amplitudes de copa, alturas, o bien, índices no tan simples que consideran la distancia de los vecinos más cercanos con objeto de ponderar su relación con el crecimiento potencial y la mortalidad (Valles e Islas, 2000).

Se han elaborado numerosos índices para cuantificar la competencia entre árboles, basados en analizar los efectos que provoca la existencia de árboles cercanos en el área potencial de crecimiento de un árbol, utilizando información espacial en dos o incluso en tres dimensiones (Clutter *et al.*, 1983; Tomé y Burkhart, 1989; Pukkala, 1989; Holmes y Reed, 1991; Biging y Dobbertin, 1992 y 1995; Vancly, 1994; Trepl, 1994; Gadow y Hui, 1999).

Así, el objetivo del estudio fue evaluar índices de competencia dependientes de la distancia con el auxilio de modelos de crecimiento, ajustados por el procedimiento de regresión no lineal, que permitan obtener los mejores índices para los bosques de coníferas.

El presente estudio se realizó en la región de El Salto, municipio de Pueblo Nuevo, Durango, en el ejido La Victoria, ubicado al suroeste de este estado, entre los paralelos 23° 40' 04" y 23° 47' 54" de latitud norte y los meridianos 105° 21' 31" y 105° 29' 52" de longitud oeste.

Las condiciones climáticas, fisiográficas y de vegetación son las siguientes (Reporte de la Auditoría Anual, 2004):

El **clima** es C(w₂) y C(e)(w₂), templado subhúmedo con lluvias en verano y templado extremo, de acuerdo a la clasificación de Köppen modificado por García (1973), con una precipitación media anual de 800 mm.

Los **suelos** son de tipo cambisol, regosol y litosol con textura predominante de gruesa a media.

En la mayor parte del predio, la **vegetación** está conformada por bosques de pino-encino. Las principales especies de pino son *Pinus cooperi* Blanco, *P. leiophylla* Schl. y Cham. y *Pinus durangensis* Martínez.

Los datos de muestreo se tomaron de ocho sitios permanentes de 5,000 m², donde predominan las especies forestales enunciadas; en cada uno de ellos se marcó una franja de 8 m con el objeto de eliminar el efecto de borde de las parcelas de dimensiones fijas y limitar la superficie de los árboles de referencia para la evaluación de la competencia. Se establecieron 50 cuadrantes de 100 m², donde se calculó la distribución espacial de cada árbol y de ellos se realizaron las mediciones dasométricas (DAP, altura total, altura de fuste limpio,

longitud de los últimos 10 anillos, longitudes de copa e incremento en área basal (Ig) a partir del incremento diamétrico).

Para seleccionar los competidores se aplicó el método propuesto por Lee y Gadow (1997) con un ángulo de eliminación de competencia de 45°. Álvarez *et al.* (2003) analizaron diez técnicas con tal propósito y los mejores resultados los obtuvieron con el método antes citado, y utilizaron el mismo ángulo. Para cada árbol de referencia (árbol 0) se determinó, en primera instancia, la zona de competencia (CZ) con el radio de competencia (CZR). El vecino próximo al árbol 0 es el primer competidor. A partir del árbol de referencia se estableció el ángulo de eliminación de competencia (CEA) del primer competidor, el cual toca los extremos de su fuste, de modo que la proyección del ángulo en el terreno conforma el sector de eliminación de competencia (CES₁). Los árboles que se ubican en el CES₁ no se consideran competidores activos. La zona de competencia (CZR) se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$CZR = k \cdot \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

Donde:

k= constante que define el radio de la zona de competencia ($2 < k < 4$)

N= número de árboles por hectárea

Posteriormente, se escogió como primer competidor activo al árbol más cercano al de referencia, descartando todos los demás situados detrás de él en el sector circular denominado CES₁, que está definido por el ángulo de eliminación de competencia (Figura 1). El procedimiento se repitió para cada uno de los árboles próximos al de referencia, "moviendo" el ángulo y el sector de eliminación de competencia hasta cubrir toda el área de interés.

Una vez designados los árboles competidores de cada parcela se evaluaron los índices de competencia dependientes de la distancia (Cuadro 1).

Se aplicaron los modelos de crecimiento (Cuadro 2) para evaluar los IC y predecir el Ig para el bosque de pino mediante regresión no lineal, ajustados por el paquete estadístico STATISTICA®, con el fin de corroborar su eficiencia, y estimar así el incremento y la dinámica de los bosques.

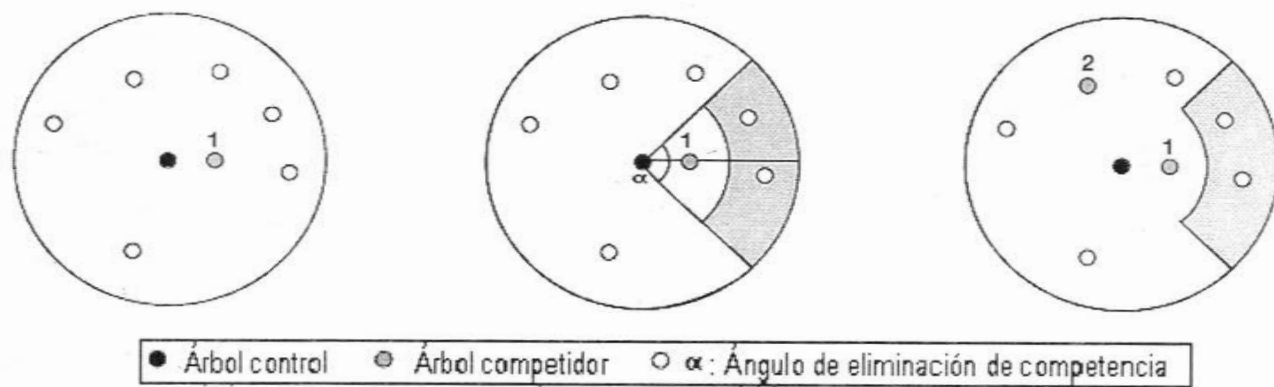


Figura 1. Esquema del proceso de selección de los competidores activos según el concepto de ángulo de eliminación de competencia (Lee y Gadow, 1997).

Cuadro 1. Índices de competencia dependientes de la distancia en bosques de coníferas de Pueblo Nuevo, Durango.

Índice	Ecuación
Hegyi (1974)	$= \sum_{j=1}^n \frac{D_j / D_i}{Dist_{ij}}$
Bigging y Dobbertin (1992)	$= \sum_{j=1}^N \frac{M_j}{M_i \cdot (Dist_{ij} + 1)}$
Pukkala y Kolstrom (1987)	$= \sum_{i \neq j} \frac{h_i}{h_j * Dist_{ij}}$
Del área de copa (CCSA)	$= \sum_{i \neq j} \frac{M_j}{M_i * Dist_{ij}}$

Donde:

- D_j = Diámetro normal del árbol competidor,
- D_i = Diámetro del árbol de referencia i,
- Dist_{ij} = Distancia entre el árbol de referencia i y el competidor j,
- n = número de árboles competidores,
- M = Área superficial de la copa (m²),
- H = Altura total.

Cuadro 2. Modelos de crecimiento para evaluar los IC y predecir el Ig en un bosque de pino.

Modelo	Ecuación
Schumacher	$Y = ae^{b/t^c}$
Chapman-Richards	$Y = a(1 - e^{-bt})^c$
Gompertz	$Y = ae^{-b^{-ct}}$
Korf	$Y = ae^{-bt^{-c}}$
Logístico	$Y = a / (-1 + ce^{-bt})$
Weibull	$Y = a(1 - e^{-bt})$
Hossfeld IV	$Y = t^c / (b + t^c / a)$
Yoshida I	$Y = at^d / (b + t^d) + c$
Logarítmico	$Y = a_0 + a_1 * \log(d)$
Prodan	$Y = 1.3 + \frac{d^2}{a_1 + a_2 * d + a_2 * d^2}$
Petterson	$Y = 1.3 + \left(\frac{d}{a_0 + a_1 * d} \right)^2$
Korsun	$Y = e^{(a_0 + a_1 * \ln(d) + a_2 * \ln(d^2))}$
Fresse	$Y = e^{(a_0 + a_1 * \ln(d) + a_2 * d)}$
Michailoff	$Y = a_0 * e^{(a_1 / d)} + 1.3$
Van Laar	$Y = e^{(a_0 + a_1 / d + a_2 / d^2)}$
Sloboda	$Y = ae^{-bc^{ct^d}}$
Polinomio de 2º grado	$Y = a_0 + a_1 * d + a_2 * d^2$
Levakovic I	$Y = a(t^d / (b + t^d))^c$

Donde:

Y	=	Altura total
d	=	Diámetro de 1.30 m
t	=	Edad
log	=	Logaritmo base 10
ln	=	Logaritmo natural
e	=	Exponente
a, b, c, d	=	Parámetros estadísticos

El mejor índice de competencia se eligió con base en los estadísticos de los análisis de varianza obtenidos en los modelos de crecimiento con los diferentes índices, observándose la respuesta y su grado de exactitud; para ello se utilizaron el cuadrado medio del error (CME), el coeficiente de determinación (R^2) y el valor de F.

De los cuatro índices de competencia probados, solo dos ofrecen el mejor ajuste respecto a los estadísticos considerados. El primero fue el CCSA, cuyo modelo logarítmico tuvo un R^2 de 0.24, un CME de 0.000000159 y un valor de F de 415.78. No hay mucha variación en los modelos ya que los CME y el R^2 son muy similares, por lo que cualquiera de ellos puede predecir el Ig, ya que explican de 22 a 23% el incremento en área basal en función de la competencia. El segundo fue el de Biging y Dobbertin (1992), cuyo modelo logarítmico manifestó un R^2 de 0.24, un CME de 0.000000183 y un valor de F de 624.55.

En el Cuadro 3 se exponen los estadísticos de ajuste, se advierte una pequeña variación en los modelos, lo que se corrobora por su varianza que corresponde a los valores menores del CME y altamente significativos ($pr > F = 0.001$).

En las Figuras 2 y 3 se ilustran los modelos de Ig con el IC ajustado, en las que se aprecia que, cuando se tiene menos competencia, el peso del factor positivo es mucho mayor que el de las restricciones o factor negativo, por lo que el incremento se dispara, dando lugar a una curva de evaluación cóncava.

A medida que la competencia es mayor, las restricciones también, por lo que ocurre un cambio en la curvatura de la gráfica de evaluación, que procede del valor mínimo de la de incremento. A partir de entonces, y en virtud de que siguen aumentando las limitaciones, la curva de crecimiento disminuye de forma paulatina. Esta tendencia continúa hasta que los factores que favorecen y se oponen al crecimiento se igualan, por lo que cesa el crecimiento y se estabiliza la competencia (Figuras 2 y 3), hecho que corresponde matemáticamente con la asíntota horizontal.

Cuadro 3. Estadísticos de ajuste para los cuatro modelos de índices de competencia.

Estadísticos de ajuste IC Hegyi (1974)			
Modelo	CME	R ²	Valor F
Fresse	0.000000359	0.16	301.46
Logaritmico	0.000000359	0.15	453.77
Korf	0.000000363	0.15	297.97
Korsun	0.000000361	0.15	299.24
Hossfeld	0.000000364	0.15	223.04
IC Pukkala y Kolstrom (1987)			
Modelo	CME	R ²	Valor F
Logaritmico	0.000000247	0.18	278.43
Hossfeld	0.000000249	0.17	413.51
IC del área de copa (CCSA)			
Modelo	CME	R ²	Valor F
Fresse	0.000000161	0.23	424.47
Logaritmico	0.000000159	0.23	415.78
Korf	0.000000161	0.23	424.42
Korsun	0.000000161	0.23	423.56
Hossfeld	0.000000161	0.22	639.44
IC Biging y Dobbertin (1992)			
Modelo	CME	R ²	Valor F
Fresse	0.000000185	0.24	412.20
Logaritmico	0.000000183	0.24	624.55
Korf	0.000000189	0.24	305.73

Estos dos últimos IC ofrecen una mayor eficiencia para modelar el crecimiento en área basal ya que explican de 23 a 24% el incremento en este parámetro en función de la competencia.

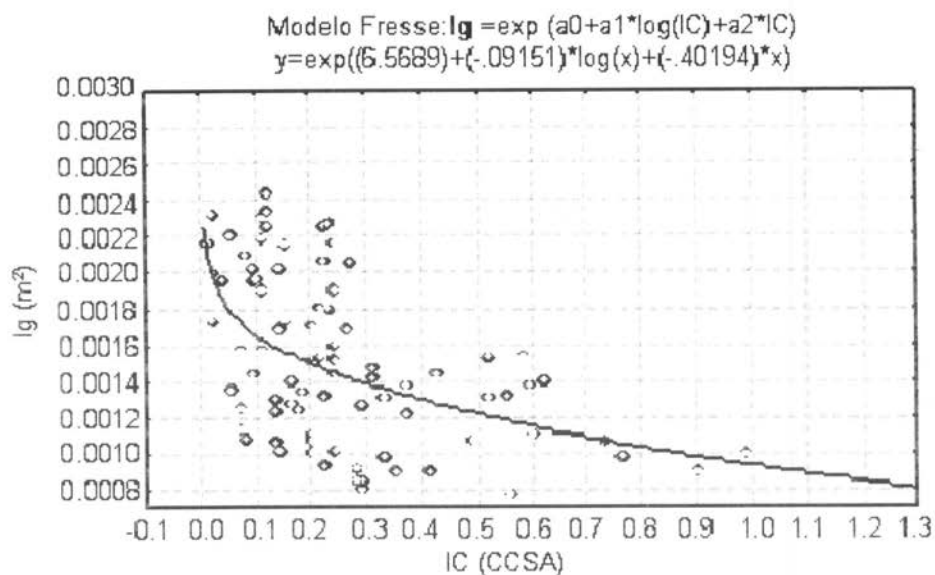


Figura 2. Área basal en función del índice de competencia del CCSA. Modelo de Fresse.

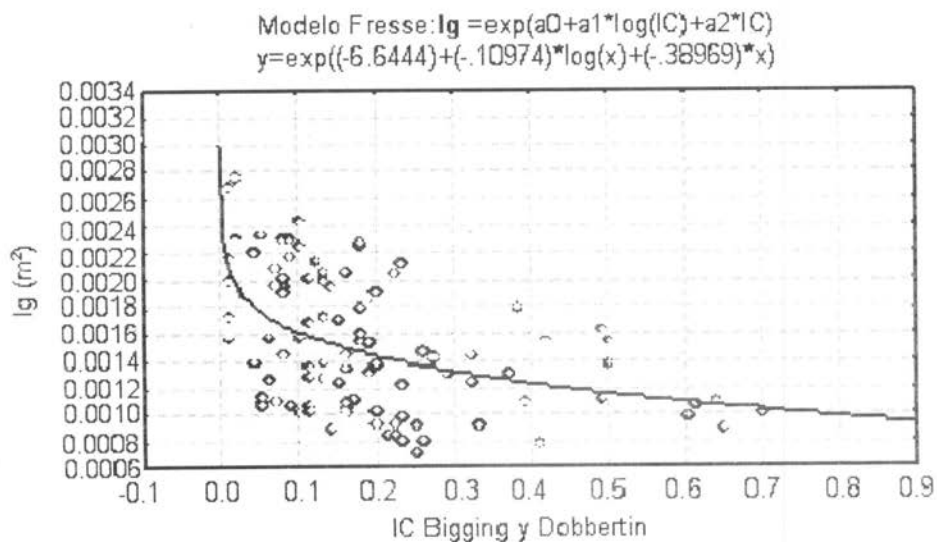


Figura 3. Área basal en función del índice de competencia de Bigging y Dobbertin. Modelo Logarítmico.

Los índices de Hegyi (1974) y el de Pukkala y Kolstrom (1987) mostraron altos valores en los CME y bajos R^2 y en consecuencia, los modelos no tuvieron un buen ajuste. Los valores altos en el CME, se debe a que no se reduce al mínimo la suma de errores ajustados debido al sesgo y a la variación.

El índice de competencia CCSA y el de Biging y Dobbertin (1992) indican que la varianza de los modelos tuvieron valores menores del CME y un incremento en los R^2 ; además ambos son altamente significativos ($pr > F = 0.001$). Estos índices son ponderados por el área de copa, por lo que dicha reducción pueda estar asociada a la variable en cuestión. Lo anterior concuerda con el planteamiento de Biging y Dobbertin (1995) que consiste en que los parámetros de copa son más eficientes para estimar competencia.

El CME obtenido concuerda con Martin y Ek (1984), Biging y Dobbertin (1992), Valles e Islas (2000), Valles *et al.* (2003) y Valadez (2004) quienes lo utilizaron para la evaluación de los índices de competencia. Algunos autores como Tomé y Burkhart (1989), Valles e Islas (2000), Valles *et al.* (2003) y Valadez (2004) también han incluido el R^2 para el mismo propósito, con valores de 0.37, 0.47, 0.53 y 0.67, respectivamente.

Los valores en los R^2 del CCSA y Biging y Dobbertin (1992) no explican más del 24% del incremento en área basal en función de la competencia, pero simulan la dinámica del crecimiento individual del bosque. Por lo tanto, para incrementar los coeficientes de determinación es necesario incorporar otras variables que permitan mejorar la eficiencia de dichos índices.

Con las observaciones de campo y algunas muestras de *Pinus leiophylla*, *P. durangensis* y *P. cooperi* que se incluyeron se determinó que, por tratarse de especies diferentes, la competencia es mucho menor debido a sus requerimientos nutricionales particulares. Según Hocker y Harold (1984) si dos plantas de especies diferentes ocupan posiciones adyacentes en una localidad pueden competir por la luz y la humedad, y sus requerimientos minerales son ligeramente distintos, complementan su abastecimiento y satisfacen otras necesidades, verificándose entre ellas poca o ninguna competencia, ya que evolucionan de forma desigual. La competencia naturalmente ocurre entre los individuos de la misma (intraespecie) o de otra especie (interespecie).

Los índices de competencia evaluados indican que el área superficial de copa es un buen parámetro para evaluar los IC, porque influyen en el incremento basal de un bosque de coníferas.

Se puede conocer el grado de exactitud de cada índice de competencia incluido en un modelo matemático al estimar el crecimiento y rendimiento de los bosques naturales, porque son una herramienta válida para predecir y modelar el crecimiento de árboles individuales.

AGRADECIMIENTO

Gracias al apoyo financiero otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) al Proyecto Clave 41181-Z, "Estructura y Dinámica de Ecosistemas Forestales en el Norte de México" fue posible la elaboración del estudio que dio origen al presente documento.

REFERENCIAS

- Álvarez, T. M. F., M. Barrio A., J. Gorgoso V. y J. G. Álvarez G. 2003. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. Vol. 12 (2):25-35. Lugo, España.
- Biging, G. S. and M. Dobbertin. 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. and M. Dobbertin. 1995. Evaluation of competition indexes in individual tree growth models. For Sci. 41 (2): 360-377.
- Brand, D. C. and S. Magnussen. 1988. Asymmetric two-sided competition in even-aged monocultures of red pine. Can. J. For. Res. 18: 901-910.
- Clutter, J. L., J. C. Fortson, L. V. Peinar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. pp. 3-29.
- Gadow, K.V. and G. Y. Hui. 1999. Modelling forest development. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Germany. 213 p
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F., México. 246 p.
- Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. (Ed.): Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry. Stockholm, Sweden. pp. 74-90.
- Hocker, J. R. y W. Harold. 1984. Introducción a la Biología Forestal. A.G.T. Editor, S. A. México, D. F. 446 p.
- Holmes, M. J. and D. D. Reed. 1991. Competition indexes for mixed species in Northern hardwoods. For. Sci. 37(5):1338-1349.
- Lee, W. K. and K. V. Gadow. 1997. Iterative Bestimmung der Konkurrenzbaume in *Pinus densiflora* Beständen. Allgemeine Forst-und Jagdzeitung 168 (3/4):41-44.
- Martin, G. L. and A. R. Ek. 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation of red pine diameter and height growth. For. Sci. 30 (3):731-743.
- Pukkala, T. 1989. Prediction of tree diameter and height in a Scotch pine stand as a function of the spatial pattern of trees. Silva Fenn. 23: 83-99.
- Pukkala, T. and T. Kolstrom. 1987. Competition indexes and the prediction of radial growth in Scotch pine. Silva Fenn. 23 : 83-99

- Reporte de la Auditoría Anual. 2004. Certificación SmartWood del Ejido La Victoria SW-FM/COC-154.
- Tomé, M. and H. E. Burkhart. 1989. Distance dependent competition measures for predicting growth of individual trees. *For. Sci.* 35 (3): 816-831.
- Trepl, L. 1994. Competition and coexistence- on the historical background in ecology and the influence of economy and social sciences. *Ecol. Modelling* 75/76:99-110.
- Valles G., A. G. y F. Islas G. 2000. Sistemas de ecuaciones del simulador del crecimiento maderable para la región de San Dimas, Durango. "Sicremars versión 1.0". INIFAP. México. 55 p.
- Valles G., A. G., R. F. González L., A. Gallegos I., J. M. Torres-Rojo, J. J. Navar C. y M. Rocha F. 2003. Evaluación de modelos matemáticos para la predicción uniforme del crecimiento en *Pinus cooperi* Blanco. VI Congreso Mexicano de Recursos Forestales. San Luis Potosí, S. L. P. México. s/p.
- Valadez, R. C. 2004. Evaluación de índices de competencia independientes de la distancia para predecir el crecimiento de especies mezcladas en San Dimas, Durango. Tesis Profesional. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. México. 63 p.
- Vanclay, K.V. 1994. Modeling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. CAB. International. Wallingford, Oxon, UK. 312 p.
- Waring, R. H., and S. W. Running, 1998. Forest ecosystems. Analysis at multiple scales. Academic Press Co. San Diego, CA, USA. 370 p.