

INFLUENCIA DE LA COMPETENCIA EN EL CRECIMIENTO INDIVIDUAL DE *PINUS RADIATA* D. DON EN GALICIA

Felipe Crecente-Campo¹, Enrique Vázquez-Gómez¹, Roque Rodríguez-Soalleiro² y Ulises Diéguez-Aranda¹

¹Departamento de Ingeniería Agroforestal, Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus universitario s/n. 27002-LUGO (España). Correo electrónico: felipecc@lugo.usc.es

²Departamento de Producción Vegetal, Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus universitario s/n. 27002-LUGO (España)

Resumen

En este trabajo se analiza la influencia de la competencia en el crecimiento en diámetro y altura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia, a partir de los datos obtenidos en tres inventarios realizados en 1995, 1998 y 2004 en la red de parcelas que la *Unidade de Xestión Forestal Sostible* (UXFS) de la Universidad de Santiago de Compostela mantiene en plantaciones de dicha especie en Galicia. Para ello, se analiza el crecimiento de los árboles individuales en función de distintos índices de competencia tanto dependientes como independientes de la distancia entre los pies, estableciendo tres tipos de relaciones *crecimiento-índice de competencia*: lineal simple, exponencial y potencial. Este análisis permite, por una parte, seleccionar el mejor índice de competencia para su inclusión en un futuro modelo de crecimiento de árbol individual para la especie en el área de estudio y, por otra, ver de qué forma debería dicho índice entrar a formar parte del modelo.

Palabras clave: *Crecimiento en diámetro, Crecimiento en altura, Índice de competencia, Selección de competidores*

INTRODUCCIÓN

Puede definirse la competencia como el efecto negativo que un organismo ejerce sobre otro debido al consumo o al control que realiza sobre el acceso a un determinado recurso (luz, agua o nutrientes) de disponibilidad limitada (KEDDY, 1989). El efecto de la competencia puede llevar hacia una reducción en la supervivencia, crecimiento o reproducción del individuo afectado (BEGON et al., 1986), siendo una de las fuerzas fundamentales en la evolución y funcionamiento de los ecosistemas (KEDDY, 1989). Uno de los efectos de la competencia que más afecta al crecimiento de un árbol es la interacción espacial

con otros árboles (GADOW et al., 2001). Un "índice de competencia" para un árbol individual es cualquier índice que estima la competencia total a la que se ve afectado el crecimiento del mismo (BIGING & DOBBERTIN, 1992).

La naturaleza del índice de competencia define el tipo de modelo de crecimiento, que puede ser dependiente o independiente de la distancia entre los árboles. Aparentemente se podría esperar un mejor comportamiento de aquellos modelos que incorporan índices dependientes de la distancia frente a aquellos de mayor simplicidad basados únicamente en valores medios por parcela y/o funciones simples de dimensiones de los individuos. Sin embargo, la

mayoría de las comparaciones realizadas entre modelos dependientes e independientes de la distancia no reflejan las diferencias esperadas (ALEMDAG, 1978; MARTÍN & EK, 1984; DANIELS et al., 1986), debido, fundamentalmente, a que los procesos que controlan la competencia entre individuos no se conocen todavía bien, lo que dificulta el desarrollo de índices con base biológica (SOARES & TOMÉ, 1999).

Los objetivos de este estudio son: (a) estimar el efecto de la competencia sobre el crecimiento en diámetro y en altura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia, (b) comparar la capacidad estimativa de los índices de competencia independientes de la distancia frente a la de los índices dependientes de la distancia e (c) identificar el mejor índice de competencia y/o la mejor combinación de un índice de competencia con un criterio de selección de competidores. El índice elegido debería ser fácil de obtener y de implementar en un futuro modelo de crecimiento de árbol individual para la especie en el área de estudio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos

Los datos utilizados en este trabajo proceden de una red de 223 parcelas que la *Unidade de Xestión Forestal Sostible* (UXFS) de la Universidad de Santiago de Compostela estableció en plantaciones monoespecíficas de pino radiata en Galicia. El tamaño de parcela osciló entre 625 y 1200 m², dependiendo de la densi-

dad de la masa, para inventariar un mínimo de 30 árboles por parcela. Las parcelas representan las diferentes combinaciones de edad, densidad y calidad de estación presentes en las masas objeto de estudio. En estas parcelas se midió el diámetro normal de todos los pies, así como la altura total de 30 árboles elegidos aleatoriamente en cada parcela, y de la proporción, en función de la superficie de la misma, de los 100 pies más gruesos por hectárea con aspecto de dominantes. Una descripción detallada de estas parcelas aparece en CASTEDO-DORADO et al. (2007).

Los datos fueron recogidos en tres momentos distintos: las parcelas fueron instaladas e inventariadas por primera vez entre los años 1995 y 1996; el segundo inventario tuvo lugar entre los años 1998 y 1999, y el tercer inventario se llevó a cabo entre los años 2004 y 2005.

En el tercer inventario se midieron con una estación total las coordenadas de todos los árboles en una submuestra de 44 parcelas. De esta manera se dispuso de información espacial para el cálculo de índices de competencia dependientes de la distancia entre pies. En esas parcelas también se midió la altura de copa viva (*hc*, m) y dos diámetros perpendiculares de la copa (*dc*, m). En la tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos más importantes de la muestra de parcelas con información espacial.

Índices de competencia analizados

En la tabla 2 se muestran los 15 índices de competencia independientes de la distancia analizados en este estudio, mientras que en la tabla

Variable	Valor medio	Valor mínimo	Valor máximo	Desv. estándar
<i>d</i>	20,3	5,0	57,3	8,0
<i>h</i>	18,2	6,5	31,6	5,1
<i>N</i>	894	280	2032	457
<i>G</i>	35,9	20,3	51,0	8,1
<i>d_g</i>	24,7	12,5	41,0	7,1
<i>H₀</i>	22,3	9,9	32,9	4,9
<i>t</i>	24,4	11	41	7,7
<i>IS</i>	20,1	13,3	26,1	2,9

Tabla 1. Resumen de las variables de árbol y de masa utilizadas. Los datos reflejan valores medios para el conjunto de los tres inventarios. *d*: diámetro normal (cm), *h*: altura total (m), *N*: número de pies por hectárea, *G*: área basimétrica por hectárea (m².ha⁻¹), *d_g*: diámetro medio cuadrático (cm), *H₀*: altura dominante (m), *t*: edad (años), *IS*: índice de sitio (m, calculado a partir de las curvas de calidad disponibles para la especie en Galicia (DIÉGUEZ-ARANDA et al., 2005) para una edad de referencia de 20 años)

Índice	Origen	Expresión
ICi ₁	Número de pies por hectárea (N)	$\sum_{i=1}^n n_i \cdot 10000/S$
ICi ₂	Área basimétrica por hectárea (G)	$\pi/4 \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot 10000/S$
ICi ₃	REINEKE (1933) (SDI)	$10^{(\log N + 1,605 \cdot \log d_g - 1,605)}$
ICi ₄	Fracción de cabida cubierta (FCC)	$\pi/4 \sum_{i=1}^n dc_i^2 \cdot 100/S$
ICi ₅	Índice de Hart (IH)	$100/(H_0 \cdot \sqrt{N})$
ICi ₆	KRAJICEK et al. (1961) (CCF)	$\pi/4 \sum_{i=1}^n dcm_i^2 \cdot 100/S$
ICi ₇	RITCHIE & HANN (1986) (CCFL)	$\pi/4 \sum dcm_{mayor_i}^2 \cdot 100/S$
ICi ₈	WYKOFF et al. (1982) (BAL)	$\pi/4 \sum d_{mayor_i}^2 \cdot 10000/S = BAL_i$
ICi ₉	BALREL	BAL_i/G
ICi ₁₀	SCHRÖDER & GADOW (1999) (BALMOD)	$(1 - [1 - (BAL_i/G)]) / IH$
ICi ₁₁	Ratio diámetro/diámetro medio cuadrático	d_i/d_g
ICi ₁₂	Ratio área basal/área basimétrica de parcela	g_i/g_t
ICi ₁₃	Ratio área basimétrica-diámetro	$(g_i/g_t)^{(d_i/d_g)}$
ICi ₁₄	BIGING & DOBBERTIN (1995) (CCL)	$\pi/4 \sum dc_{mayor_i}^2 \cdot 10000/S$
ICi ₁₅	Ratio diámetro de copa/diámetro normal	dc_i/d_i

Tabla 2. Expresión matemática de los índices de competencia independientes de la distancia analizados. *n*: número de pies por parcela, *S*: superficie de la parcela (m²), *d_i*: diámetro normal del árbol seleccionado (cm), *dc_i*: diámetro de copa, en proyección horizontal, del árbol seleccionado (m), *dcm_i*: diámetro de copa máximo (en crecimiento libre) del árbol seleccionado (m), *d_{mayor_i}*: diámetro normal de los árboles mayores que el árbol seleccionado (cm), *g_i*: sección normal del árbol seleccionado (m²), *g_t*: área basimétrica de la parcela (m²), *dcm_{mayor_i}*: diámetro de copa, en proyección horizontal, de los árboles mayores que el árbol seleccionado (m), *Vcm_{mayor_i}*: volumen de copa de los árboles mayores que el árbol seleccionado (m³), *Scm_{mayor_i}*: superficie total de copa de los árboles mayores que el árbol seleccionado (m²)

3 se muestran los 9 índices de competencia dependientes de la distancia analizados.

Criterios de selección de competidores

El valor de un índice de competencia dependiente de la distancia depende tanto de su formulación matemática como del método utilizado para definir los vecinos como competidores (BIGING & DOBBERTIN, 1992). En este trabajo se han utilizado varios criterios de selección de árboles competidores. El criterio C1 selecciona como árboles competidores todos aquellos incluidos en una parcela móvil de Bitterlich con centro en el árbol objetivo y con un factor de área basal (BAF) igual a 4 m².ha⁻¹. El criterio C2 considera como árboles competidores todos los

seleccionados con el criterio C1 y además los pies más cercanos que se localicen dentro de cada uno de los cuadrantes definidos por los cuatro puntos cardinales. El criterio C3 selecciona como competidores los cuatro árboles más cercanos al árbol objetivo. El criterio C4, propuesto por BIGING & DOBBERTIN (1992), se basa en considerar competidores activos aquellos árboles cuya altura total supera una línea imaginaria trazada desde la base del árbol objetivo con una inclinación de 60° con respecto a la horizontal. El criterio C5 difiere del anterior en que la recta inclinada tiene su origen en la base de la copa del árbol objetivo. El criterio C6 se basa en el concepto de zona de influencia, inicialmente propuesto por STAEBLER (1951), y considera como competido-

Índice	Origen	Expresión
ICd ₁	STAEBLER (1951)	$\sum_{i \neq j} L_{ij}$
ICd ₂	GERRARD (1969)	$\sum_{i \neq j} O_{ij} / Z_i$
ICd ₃	BELLA (1971)	$\sum_{i \neq j} (O_{ij} d_j) / (Z_{ij} d_i)$
ICd ₄	HEGYI (1974)	$\sum_{i \neq j} d_j / (d_i Dist_{ij})$
ICd ₅	ALEMDAG (1978)	$\sum_{i \neq j} \{ \pi [(Dist_{ij} d_i) / (d_i + d_j)]^2 (d_j / Dist_{ij}) / \sum (d_j / Dist_{ij}) \}$
ICd ₆	MARTÍN & EK (1984)	$\sum_{i \neq j} (d_j / d_i) \exp((1/6 Dist_{ij}) / (d_i + d_j))$
ICd ₇	DANIELS <i>et al.</i> (1986)	$(d_i^2 n) / \sum_{i \neq j} d_j^2$
ICd ₈	BRAATHE (1980)	$\sum_{i \neq j} h_i / (h_j Dist_{ij})$
ICd ₉	BIGING & DOBBERTIN (1992)	$\sum_{i \neq j} CC_j / (CC_i (Dist_{ij} + 1))$

Tabla 3. Expresión matemática de los índices de competencia dependientes de la distancia analizados. L_{ij} : longitud del segmento que une los centros del árbol seleccionado y de su competidor; incluida en el área de solapamiento de sus zonas de influencia (m), Z_i : área de la zona de influencia del árbol seleccionado (m²), d_j : diámetro normal del árbol competidor (cm), $Dist_{ij}$: distancia en proyección horizontal entre el árbol seleccionado y el árbol competidor (m), CC_i : superficie de copa en proyección horizontal del árbol seleccionado (m²), CC_j : superficie de copa en proyección horizontal del árbol competidor (m²), n : número de árboles competidores, h_i : altura total del árbol seleccionado (m), h_j : altura total del árbol competidor (m), O_{ij} : área de solapamiento entre las zonas de influencia del árbol seleccionado y del árbol competidor (m²) (calculada según la ecuación propuesta por LEE & GADOW (1997))

res activos todos aquellos pies cuya zona de influencia se solape con la zona de influencia del árbol objetivo. El criterio C6 es el único que se puede emplear con los índices de competencia basados en el concepto de la zona de influencia: ICd₁, ICd₂ e ICd₃. Los criterios C7 a C11 tienen en cuenta el concepto de ángulo de eliminación de competencia (LEE & GADOW, 1997); se han utilizado ángulos de eliminación de competencia de 90, 75, 60, 45 y 30 grados, que definen los criterios C7 a C11, respectivamente.

Los árboles que se encuentran en el borde de la parcela posiblemente tienen competidores fuera de ésta, por lo que no se pueden considerar como árboles objetivo en el cálculo de los índices de competencia. Para evitar sesgos con este tipo de árboles los índices de competencia se calcularon únicamente para aquellos árboles cuyos competidores estaban dentro de la parcela inventariada, y el modelo se ajustó solo con esos datos. Esto se aseguró estableciendo un *buffer* o zona de amortiguación en los bordes de la parcela, de forma que sólo se seleccionaron

como árboles objetivo los situados a una distancia del borde de la parcela mayor o igual a la suma de su radio de copa máximo y del radio de copa máximo del mayor árbol de la parcela, en condiciones de no competencia, calculados ambos con la ecuación propuesta por CONDÉS & STERBA (2005).

Modelos analizados

Para analizar la influencia que los distintos índices de competencia tienen en el crecimiento en diámetro normal y en altura de los árboles individuales se establecieron, para cada una de las distintas combinaciones entre índices de competencia y criterios de selección de competidores, tres tipos de relaciones *crecimiento-índice de competencia*: lineal simple, exponencial y potencial:

$$\Delta y = \alpha + \beta \cdot CI \tag{1}$$

$$\Delta y = \alpha \cdot \exp(\beta \cdot CI) \tag{2}$$

$$\Delta y = \alpha \cdot CI^\beta \tag{3}$$

donde y es la variable que intentamos modelizar (diámetro normal o altura), *CI* es una determina-

da combinación de un índice de competencia con un criterio de selección de competidores y α y β son los parámetros a estimar en los ajustes.

En este trabajo, el intervalo de tiempo transcurrido entre inventarios varió entre 3 y 6 años. Por ello se utilizó el método del crecimiento medio, que asume un crecimiento constante en el período entre inventarios. Las variables dependientes fueron, por tanto, el incremento anual en diámetro normal y el incremento anual en altura.

La estimación de los parámetros del modelo lineal se realizó por mínimos cuadrados utilizando el procedimiento REG del programa SAS/STAT® (SAS INSTITUTE INC., 2004). En el caso de los modelos no lineales se utilizó el procedimiento NLIN implementado en el mismo programa.

El análisis de la capacidad de ajuste de los modelos se basó en comparaciones numéricas y gráficas de los residuos. Así, se calcularon los siguientes estadísticos: el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error medio cuadrático (REMC). Aunque existen opiniones fundamentadas que plantean dudas en relación con el empleo del R^2 en la selección de modelos, este estadístico da una idea bastante intuitiva de la variabilidad que explican; no obstante, nunca debe utilizarse como el único criterio para elegir el mejor modelo (MYERS, 1990). El estadístico

REMC resulta útil porque está expresado en las mismas unidades que la variable dependiente, por lo que da una idea del error medio que se comete con el modelo; además, penaliza los modelos con mayor número de parámetros, de acuerdo con el principio general de simplicidad científica. Las expresiones de estos estadísticos son las siguientes:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2} \quad [4]$$

$$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad [5]$$

donde y_i , \hat{y}_i e \bar{y} son respectivamente los valores observado, estimado y promedio de la variable dependiente, n es el número total de observaciones utilizado para ajustar el modelo y p es el número de parámetros a estimar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 4 muestra los resultados del ajuste de los modelos para el incremento en diámetro (únicamente se visualizan los cinco mejores índices de competencia para cada modelo). Los

Modelo	Índice de competencia	R^2	REMC
Lineal	IC _{i10}	0,3889	0,3523
	IC _{i8}	0,3756	0,3562
	IC _{i7}	0,3628	0,3598
	IC _{i15}	0,3019	0,3766
	IC _{d7-C5}	0,3010	0,3768
Exponencial	IC _{d9-C1}	0,3669	0,3586
	IC _{i8}	0,3663	0,3588
	IC _{i10}	0,3622	0,3600
	IC _{i15}	0,3279	0,3695
	IC _{d3-C6}	0,3188	0,3720
Potencial	IC _{i15}	0,3235	0,3707
	IC _{d9-C1}	0,3189	0,3720
	IC _{d7-C5}	0,3145	0,3732
	IC _{d3-C6}	0,2782	0,3829
	IC _{i11}	0,2753	0,3837

Tabla 4. Estadísticos de ajuste de los mejores modelos lineal, exponencial y potencial para la variable independiente "incremento en diámetro"

Modelo	Índice de competencia	R ²	REMC
Lineal	ICi ₁₅	0,3097	0,3353
	ICi ₁₃	0,2552	0,3483
	ICi ₈	0,2127	0,3581
	ICi ₁	0,1846	0,3644
	ICi ₁₀	0,1647	0,3688
Exponencial	ICi ₁₃	0,2984	0,3380
	ICi ₁₅	0,2935	0,3392
	ICi ₈	0,1986	0,3613
	ICd ₉ -C1	0,1668	0,3684
	ICi ₁₀	0,1510	0,3718
Potencial	ICi ₁₅	0,3025	0,3370
	ICi ₁₃	0,2753	0,3435
	ICd ₇ -C5	0,1831	0,3647
	ICi ₁	0,1806	0,3653
	ICi ₁₁	0,1484	0,3724

Tabla 5. Estadísticos de ajuste de los mejores modelos lineal, exponencial y potencial para la variable independiente “incremento en altura”

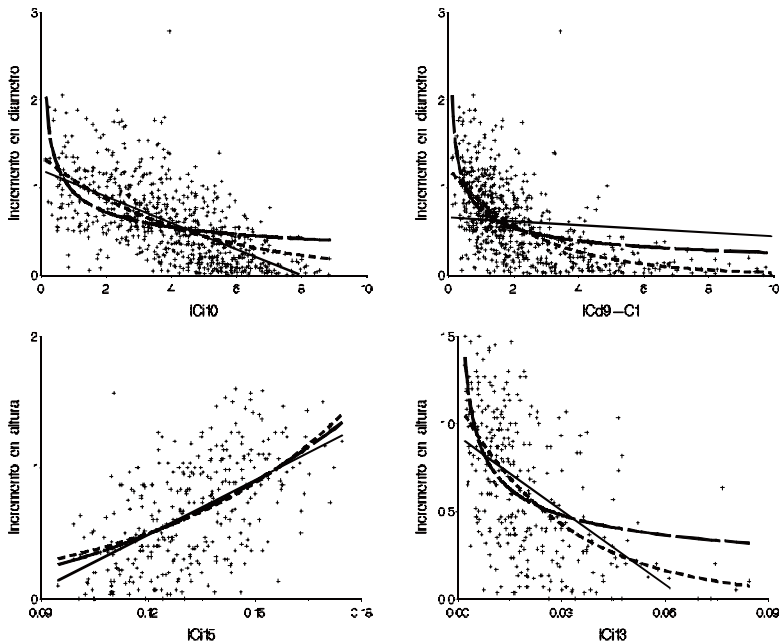


Figura 1. Ejemplos de los índices de competencia que mejores resultados proporcionaron para los modelos de incremento en diámetro y altura. Se muestran los gráficos de los modelos lineal (línea continua), exponencial (línea de puntos) y potencial (línea discontinua), superpuestos a la nube de puntos

mejores resultados se obtuvieron con los índices ICi_{10} e ICi_8 utilizando los modelos lineal y exponencial. El índice ICd_9 combinado con el criterio C1 también proporcionó buenos resultados, estando entre los mejores al utilizarlo en el modelo exponencial. Con el modelo potencial se obtuvieron peores resultados para todos los índices. Debido a la simplicidad del cálculo de los índices ICi_{10} (SCHRÖDER & GADOW, 1999) e ICi_8 (WYKOFF et al., 1986), su utilización parece recomendable, tanto en forma lineal como exponencial, en el desarrollo de un modelo de incremento en diámetro de árbol individual para la especie en el área de estudio.

La tabla 5 muestra los resultados del ajuste de los modelos para el incremento en altura (únicamente se visualizan los cinco mejores índices de competencia para cada modelo). Los mejores resultados se obtuvieron con los índices ICi_{15} e ICi_{13} para todos los modelos, siendo los resultados de del índice ICi_{13} un poco peores en los modelos lineal y potencial, y similares en el exponencial. El resto de índices presenta peores resultados que los índices mencionados. Por lo tanto, si se dispone de información acerca del diámetro máximo de copa, parece adecuado utilizar el índice ICi_{15} en forma lineal, exponencial o potencial, en el desarrollo de un modelo de incremento en altura de árbol individual para la especie en el área de estudio. En caso de no disponer de información acerca de la copa se recomienda utilizar el índice ICi_{13} , preferiblemente en forma exponencial.

En la figura 1 se comparan los índices ICi_{10} e ICd_9 para el incremento en diámetro, así como los índices ICi_{15} e ICi_{13} para el incremento en altura.

Los índices independientes de la distancia presentan resultados ligeramente mejores a los dependientes para el incremento en diámetro, y claramente superiores para el incremento en altura. Debido a esto, y a que su cálculo es mucho más sencillo (no se requiere información espacial), se recomienda su utilización en el desarrollo de un modelo de crecimiento de árbol individual para plantaciones de pino radiata en Galicia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEMDAG, I.S.; 1978. *Evaluation of some competition indices for the prediction of diameter increment in planted white spruce*. Can. For. Serv., Forest Manage. Inst. Inf. Rep. FMR-X-108.
- BEGON, M.; HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R.; 1986. *Ecology*. 2nd Edition. Blackwell Science. Oxford.
- BELLA, I.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.
- BIGING, G.S. & DOBBERTIN, M.; 1995. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *For. Sci.* 41(2): 360–377.
- BRAATHE, P.; 1980. Height increment of young single trees in relation to height and distance of neighbouring trees. In: *Schmidt-Haas and Johann*: 43–47.
- CASTEDO-DORADO, F.; DIÉGUEZ-ARANDA, U. & ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; 2007. A growth model for *Pinus radiata* D. Don stands in north-western Spain. *Ann. For. Sci.* 64: 453–465.
- CONDÉS, S. & STERBA, H.; 2005. Derivation of compatible crown width equations for some important tree species of Spain. *Forest Ecol. Manage.* 217: 203–218.
- 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.
- DIÉGUEZ-ARANDA, U.; BURKHART, H.E. & RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2005. Modelling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in north-western Spain. *Forest Ecol. Manage.* 215: 271–284.
- GADOW, K.V.; REAL, P. & ÁLVAREZ, J.G.; 2001. *Modelización del crecimiento y la evolución de los bosques* 12. IUFRO World Series. Viena.
- GERRARD, D.I.; 1969. Competition quotient: a new measure for the competition affecting individual forest trees. *Mich. State Univ. Agric. Res. Station, Res. Bull.* 20: 1–32.
- HEGYI, F.; 1974. A simulation model for managing jack pine stands. In: J. Fries (ed.). *Growth models for tree and stand simula-*

- tion. Proceedings of IUFRO meeting Sr.01.04: 74-90. Royal College of Forestry. Stockolm.
- KEDDY, P.A.; 1989. *Population and community biology. Competition*. Chapman and Hall. London.
- KRAJICEK, J.E.; BRINKMAN, K.A. & GINGRICH, S.F.; 1961. Crown competition—A measure of density. *For. Sci.* 7(1): 35–42.
- LEE, D.T. & GADOW, K.v.; 1997. Iterative bestimmung der konkurrenzbaume in *Pinus densiflora* Beständen. *AFJZ* 168(3/4): 41–44.
- 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.
- MYERS, R.H.; 1990. *Classical and Modern Regression with Applications*. 2nd Ed. Duxbury Press. Belmont, CA.
- REINEKE, L.H.; 1933. Perfecting a stand density index for even-aged forest. *J. For. Res.* 46: 627–638.
- RITCHIE, M.W. & HANN, D.W.; 1982. Equations for predicting basal area increment in Douglas-fir and grand fir. *For. Res. Lab. School of For. Oregon State Univ., Corvallis, Res. Bull.* 51: 1- 9.
- SAS INSTITUTE INC.; 2004. *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- SCHRÖDER, J. & GADOW, K.v.; 1999. Testing a new competition index for maritime pine in north-western Spain. *Can. J. For. Res.* 29: 280–283.
- SOARES, P. & TOMÉ, M.; 1999. Distance-dependent competition measures for eucalyptus plantations in Portugal. *Ann. For. Sci.* 56: 307–319.
- STAEBLER, G.R.; 1951. *Growth and spacing in an even-aged stand of Douglas-fir*. Master's thesis. University of Michigan. Chicago.
- WYKOFF, W.R.; CROOKSTON, N.L. & STAGE, A.R.; 1982. *User's guide to the stand prognosis model*. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report INT-133.