

RELACIÓN ENTRE INCREMENTO DIAMETRAL Y PARÁMETROS ECOLÓGICOS PARA *FRAXINUS EXCELSIOR* L. EN EL NOROESTE DE CASTILLA Y LEÓN

M^a Pilar Modrego Alcalde y Óscar Cisneros González

Departamento de Investigación y Experiencias Forestales de Valonsadero. Junta de Castilla y León. Apdo. 175. 42080-SORIA (España). Correo electrónico: modalcpi@jcy.es

Resumen

Para determinar la influencia de distintos factores ecológicos sobre el crecimiento diametral de *Fraxinus excelsior* L. se han muestreado 13 parcelas en el noroeste de Castilla y León. Tras eliminar el efecto del tamaño del árbol y de la competencia sobre el crecimiento, la parte no explicada por el modelo incluye la influencia de la estación ecológica. El estudio del suelo, clima y fisiografía permite elaborar parámetros que sintetizan el efecto de los distintos factores ecológicos; y el estudio de la relación entre estos parámetros y el residuo del modelo anterior determina la influencia de cada factor ecológico en el crecimiento de esta especie.

Palabras clave: *Fresno*, *Fraxinus excelsior* L., Parámetros ecológicos, Modelo de incremento diametral

ANTECEDENTES

El fresno (*Fraxinus excelsior* L.) es una frondosa que aparece de forma silvestre en las sierras que bordean la mitad norte de Castilla y León. Se incluye en el grupo denominado maderas nobles o maderas de calidad, porque sus características tecnológicas y estéticas permiten que se utilice en ebanistería, carpintería de interiores, instrumentos deportivos, etc. Su utilización en plantaciones es escasa, debido probablemente a que aparece habitualmente cerca de cursos de agua, y existe la apreciación de que no puede desarrollarse en otras condiciones ecológicas. Sin embargo, existen experiencias que evidencian su viabilidad en la forestación de tierras agrarias, e incluso se puede afirmar que su conformación natural es más favorable a la producción de madera de

calidad que la de las especies más empleadas con este fin, cerezo (*Prunus avium* L.) y nogal (*Juglans regia* L.) (SANTIAGO et al., 2006; CISNEROS et al., 2006).

Los estudios de autoecología paramétrica de especies permiten determinar el hábitat paramétrico en el que se desarrolla una especie, y por lo tanto sirven para evaluar la aptitud para la implantación de esa especie en una determinada estación. La metodología general de estos estudios se puede encontrar en las publicaciones de síntesis asociadas a las distintas especies (GANDULLO et al., 2004; SÁNCHEZ, 2001; etc.). En el caso del fresno en Castilla y León, se ha seguido proceso similar: obtención de la distribución regional de la especie, estratificación de la misma, recorrido de campo, asignación de puntos de muestreo, muestreo y elaboración de parámetros.

Una vez que se ha determinado la capacidad para vegetar de la especie, el siguiente paso deseable consiste en estimar su crecimiento, para evaluar el proyecto de forestación desde el punto de vista ecológico y económico. Conocer la relación entre calidad de estación y factores ecológicos facilita la toma de decisiones, y ha sido un punto habitual en los estudios de autoecología de especies forestales por ejemplo para *Pinus* sp., (GANDULLO Y SÁNCHEZ PALOMARES, 1994); *Fagus sylvatica* L. (SÁNCHEZ et al., 1993) o *Castanea sativa* Miller (RUBIO Y GANDULLO, 2004). Aunque la calidad estación se ha interpretado habitualmente a través de la altura total que alcanza la especie a una determinada edad, en el caso de frondosas orientadas a la producción de madera de calidad, se considera interesante emplear el diámetro como estimador, porque la selvicultura de estas plantaciones se orienta a la producción del mayor volumen en la troza inicial (desde la base del árbol), recta, cilíndrica y sin nudos, a partir de la cual la altura del árbol influye poco sobre el precio. Por encima de una altura mínima de troza de 2,5-3 m, es el diámetro el que va a determinar el destino de la madera, y por lo tanto su precio. Otra razón para emplear el diámetro frente a la altura es la existencia habitual de defectos en la copa, por accidentes climáticos en las zonas montañosas donde vegetan especies como fresno, cerezo o arce.

El objetivo de este trabajo es determinar los factores ecológicos de mayor influencia sobre el crecimiento diametral del fresno, para las condiciones en que se desarrolla la especie en el noroeste de la región de Castilla y León.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estratificación y selección de parcelas

La distribución de la especie se obtiene de la versión digital que ha realizado el Banco de Datos de la Naturaleza del Mapa Forestal de España a escala 1:200.000 (MFE200), dirigido por RUIZ DE LA TORRE (1990). Se han incluido todas las teselas del citado mapa en las que aparece fresno, independientemente del grado de dominancia, ya que la especie aparece como acompañante.

Se ha realizado la estratificación del territorio (Figura 1) con presencia del fresno de montaña mediante la agrupación de clases de la Clasificación biogeoclimática (ELENA, 1997). Con el apoyo de la estratificación y visitas al campo se ha planteado la distribución de 40 parcelas en las provincias de Zamora, León, Palencia, Burgos, Soria y Segovia. La asignación de parcelas es proporcional a la importancia superficial del estrato y pretende que se represente correctamente todo el rango de clases diamétricas.

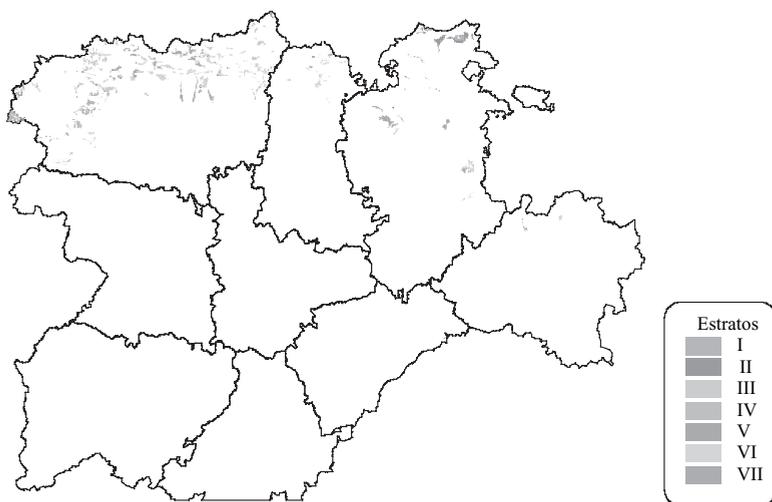


Figura 1. Estratificación del área de distribución de *Fraxinus excelsior* L. en Castilla y León

Muestreo

En cada parcela se realiza una calicata hasta 120 cm o hasta alcanzar roca. Se identifican y describen los horizontes y se obtiene una muestra representativa de cada horizonte para su posterior análisis.

En cada parcela se seleccionan un máximo de 10 fresnos. No deben ser dominados y se procura que estén cerca de la calicata, para que los datos edáficos se puedan asociar al crecimiento. En cada árbol se mide la altura total, altura de copa, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y espesor de corteza; y se extrae una barrena en la base para determinar la edad y dos a 1,30 m para obtener el incremento radial en los últimos 10 años.

A partir de los datos de localización de la parcela, se han obtenido los valores mensuales de temperatura media y precipitación, junto con la temperatura máxima del mes más cálido y la mínima del mes más frío, siguiendo los modelos del SÁNCHEZ *et al.* (1999).

Medición de anillos

La medición de los anillos para determinar el incremento diametral se realizó mediante escaneado y medición sobre imagen, empleando la aplicación WinDendro © Regent Instruments.

Elaboración de parámetros ecológicos

Los resultados de los análisis edáficos, junto con los obtenidos de los datos climáticos más la altitud, permiten elaborar un conjunto de parámetros, representativos de los factores ecológicos más importantes. A continuación se citan los empleados en este trabajo (para una descripción se pueden consultar los trabajos de autoecología citados anteriormente):

Parámetros fisiográficos: ALT (altitud)

Parámetros climáticos: PA (precipitación anual), PI, PP, PV, PO (precipitaciones estacionales), TM (temperatura media anual), TMC (media de las máximas del mes más cálido), TMF (media de las mínimas del mes más frío), ETP (evapotranspiración anual), CAL y FRI (suma de ETP en meses con $TM > 7^\circ$ y $< 7^\circ$ respectivamente), SUP (suma de superávits), DEF (suma de déficits), IH (índice hídrico), DSQ (duración de la sequía), ISQ (intensidad de la sequía).

Parámetros edáficos: TF (tierra fina), ARE (arena), LIM (limo), ARC (arcilla), CCC (coeficiente de capacidad de cementación), CIL (coeficiente de impermeabilidad debido al limo), PER (permeabilidad), HE (humedad equivalente), CRA (capacidad de retención de agua), MO (materia orgánica), PHA (acidez actual), PHK (acidez de cambio), N (nitrógeno), CN (relación carbono/nitrógeno), P (fósforo), K (potasio), CIC (capacidad de intercambio catiónico)

Parámetros edafoclimáticos: ETRMP (evapotranspiración real máxima posible), SF (sequía fisiológica), DRJ (drenaje).

Análisis estadístico

El objetivo del trabajo es analizar la relación entre incremento diametral y parámetros ecológicos. Se ha seguido la aproximación de VANCLAY (1994), quien emplea una generalización de la ecuación de Bertalanffy para incremento diametral del tipo

$$\ln \Delta d = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 d^k \quad (1)$$

porque permite un ajuste sencillo y ofrece predicciones robustas.

En este trabajo el intervalo de tiempo contemplado en Δd es de 10 años, y corresponde al incremento en diámetro sin corteza obtenido como media de las mediciones sobre los corex extraídos a la altura normal. Los dos términos funciones del diámetro normal "d" ($\beta_1 \ln d + \beta_2 d^k$) evalúan el efecto del tamaño del árbol sobre el incremento diametral. En nuestro caso el término "d" es el diámetro normal sin corteza de hace 10 años, calculado como la diferencia entre el diámetro normal actual sin corteza y el incremento diametral de los últimos 10 años. El valor "k" toma el valor de 2, según el modelo de WYKOFF (1990) y limita el crecimiento para grandes diámetros.

El término independiente, β_0 puede expandirse para evaluar el efecto de la competencia y de los parámetros ecológicos. La competencia se evalúa a partir de la relación altura de copa/altura total, la relación diámetro de copa/diámetro basal, y el diámetro de copa. Estas tres variables se relacionan con la competencia, además se puede admitir que las dos primeras no han variado excesivamente en los últimos 10 años, mientras que el diámetro de copa actual se puede considerar como un indi-

cadador del área potencial disponible hace 10 años (WYKOFF, 1990; MONSERUD & STERBA, 1996; DANIELS et al., 1986; VANCLAY, 1994). Es evidente que estas aproximaciones restan al modelo validez predictiva, pero el objetivo del trabajo es analizar la relación entre crecimiento y parámetros ecológicos, por encima de elaborar un modelo predictivo.

El modelo, sin incluir el efecto de los parámetros ecológicos es:

$$\ln\Delta d_{10} = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{10} + \beta_2 d_{10}^2 + \beta_3 CR + \beta_4 Dcopa + \beta_5 Dcopa/dbase + \varepsilon \quad (2)$$

donde $\ln\Delta d_{10}$ es el logaritmo natural del incremento diametral (cm) en los últimos 10 años, $\ln d_{10}$ es el logaritmo natural del diámetro normal (cm) sin corteza hace 10 años, d_{10}^2 es el cuadrado del diámetro anterior, CR es el porcentaje de altura de copa respecto a la altura total, Dcopa es el diámetro de copa (m), Dcopa/dbase es la relación entre el diámetro de copa y el diámetro en la base del árbol y ε es el término que incluye el efecto de los parámetros ecológicos junto con la parte no explicada del modelo.

Una vez analizado el modelo anterior, se determina cuáles son las variables dasométricas a retener para el análisis de los parámetros ecológicos. En el siguiente paso se determina el número máximo de variables que se deben incluir en el modelo para que no exista riesgo de multicolinealidad, mediante el criterio de que el estadístico C(p) de Mallows se aproxime a p+1, donde p es el número de variables

independientes en el modelo. La multicolinealidad es normal en este tipo de análisis porque existen correlaciones de diversa intensidad y sentido entre muchos de los parámetros analizados. Para estudiar la existencia de multicolinealidad se analiza el estadístico índice de condicionamiento y los factores de incremento de la varianza (FIV) entre variables independientes.

Los cálculos correspondientes se realizan con el procedimiento REG de SAS ©, mediante ajuste por mínimos cuadrados.

RESULTADOS

El mapa de presencia de la especie abarca 102.359,89 ha, aunque la superficie real ocupada probablemente no llega al 10%.

De las 40 parcelas se han incluido 13 en el presente trabajo (Figura 2). Se describen algunos parámetros en la tabla 1.

El número de árboles utilizados, tras depurar la base de datos es 62. En la tabla 2 se recogen sus principales características.

El análisis del modelo (2) determina que CR es la única variable sin significación en el conjunto de indicadores de competencia y tamaño; mientras que la inclusión de d_{10}^2 implica problemas de colinealidad, por lo que se opta por eliminarla. El resultado del ajuste se recoge en la tabla 3.



Figura 2. Ubicación de las parcelas y distribución de *Fraxinus excelsior* L. en Castilla y León

	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo		Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
ALT	1019	154,11	1322	793	ISQ	0	0,02	0,1	0
PT	1166,4	243,13	1591	714	CRA	175,6	68,38	331	84
PI	412,3	88,96	537	241	TF	67,5	25,93	97,5	27,7
PP	302,8	62,35	422	188	ARE	54,2	14,31	79,3	35,4
PV	131,1	29,93	193	90	LIM	36,5	12,67	54,3	14,2
PO	320,2	65,87	439	195	ARC	9,2	4,27	16,2	2
TM	9,5	0,84	10,7	7,8	PER	4,2	0,66	5	3
TMC	25,1	1,8	27,8	21	CCC	0,1	0,07	0,2	0
TMF	-1,9	1,18	-0,2	-3,9	CIL	0,2	0,11	0,5	0,1
ETP	618	24,58	651,3	567,2	HE	21,8	4,74	29	14,3
FRI	123	13,97	142,6	99,8	MO	4	1,51	6,5	1,2
CAL	495	18,33	527,1	457,6	PHA	6,5	1,01	7,8	4,8
SUP	733,7	207,59	1124,6	347	PHK	5,8	1,11	7,2	4
DEF	184,9	53,38	283,5	99,1	N	0,3	0,14	0,6	0,1
IH	101,9	41,34	187,8	27,2	CN	9,6	2,12	15	6,3
ETRMP	544,4	20,77	569,5	504	P	6,5	5,41	17,9	0
SF	73,6	26,02	136,4	21,3	K	115,2	94,55	359	30,2
DRJ	622,4	236,33	1046,8	156,6	CIC	18,4	7,18	32,1	8,8
DSQ	0,9	0,8	2,1	0					

Tabla 1. Resumen de los parámetros ecológicos

	Edad	Altura total (m)	Altura de copa (m)	Diámetro basal (cm)	Diámetro normal (cm)	Espesor de corteza (cm)	Diámetro de copa (m)
Media	46	16,4	12,2	34,8	28,5	1,7	6,9
Desviación estándar	20	7,2	6,1	15,4	11,9	0,9	1,9
Máximo	94	35,5	29,0	81,5	61,1	4,0	12,8
Mínimo	17	4,6	1,7	13,8	10,5	0,4	3,5

Tabla 2. Descripción de los árboles empleados en el análisis de crecimiento diametral

Una vez retenido el efecto de las variables $\ln d_{10}$, Dcopa y Dcopa/dbase, se realiza el ajuste con los parámetros ecológicos. El análisis del estadístico C(p) indica que el modelo debe incluir 6 variables independientes. Los modelos de 6 variables con mayor coeficiente de determinación se recogen en la tabla 4.

Los coeficientes de los modelos de 6 parámetros se incluyen la tabla 5.

El análisis de multicolinealidad no detecta redundancia en función de los valores de inflación de la varianza, aunque sí existe según el índice de condicionamiento (datos no mostrados). Este hecho se debe a la inclusión

de pares de parámetros de precipitación (PP, SUP, IH, etc).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La variabilidad explicada es relativamente baja (en torno al 55%), aunque se puede considerar un resultado razonable para un número pequeño de parcelas. Los efectos de la variable Dcopa, y la relación Dcopa/dbase son asimilables al producido por la relación Dcopa/dnormal sobre el crecimiento en altura del fresno, obtenido en el estudio sobre la relación entre producti-

Análisis de la varianza					
Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico F	Pr > F
Modelo	3	2,07019	0,69006	3,93	< 0,0129
Error	56	9,83611	0,17564		
Total	59	11,90630			
	CV	R2	R ² corregido		
	31,14	0,1739	0,1296		
Estimación de los parámetros					
Variable	Parámetros estimados	Error estándar	Pr > t	Parámetros estandarizados	FIV
constante	3,08076	0,55164	<,0001		
ln _d ₁₀	-0,65856	0,20492	0,0022	-1,2768	4,0132
Dcopa	0,13746	0,05134	0,0097	1,5251	2,9417
Dcopa/dbase	-3,19920	0,99644	0,0022	-1,3664	2,3054

Tabla 3. Resultado del ajuste del modelo (2)

Modelo	R ²	C(p)	Parámetros ecológicos
1	0,5492	6,0736	PP DEF LIM
2	0,5468	6,3443	PP DEF ARE
3	0,5450	6,5504	PP IH CIL
4	0,5436	6,7113	PP DSQ LIM
5	0,5414	6,9673	PP PO LIM
6	0,5380	7,3625	SUP DEF ARE
7	0,5365	7,5345	PP DSQ ARE
8	0,5354	7,6667	SUP DEF LIM
9	0,5353	7,6781	PT PP ARE
10	0,5352	7,6852	PP CAL CIL

Tabla 4. Modelos de 6 variables con mayor coeficiente de determinación

Modelo	Constante	LnDsc10	Dcopa	rDcopa	PT	PP	PO	CAL	SUP	DEF	IH	DSQ	ARE	LIM	CIL
1	7,7081	-0,7888	0,1504	-2,5917		-0,0083				-0,0073				-0,0149	
2	6,6967	-0,7632	0,1395	-2,2581		-0,0089				-0,0082			0,0138		
3	6,8593	-0,7368	0,1508	-2,4997		-0,0172					0,0192				-2,0787
4	6,2156	-0,7937	0,1605	-2,9332		-0,0064						-0,3735		-0,0167	
5	4,6620	-0,8799	0,1700	-3,0079		-0,0358	0,0317							-0,0119	
6	5,8235	-0,7617	0,1404	-2,2769					-0,0026	-0,0079			0,0143		
7	4,8368	-0,7641	0,1495	-2,6085		-0,0067						-0,4231	0,0154		
8	6,8692	-0,7856	0,1512	-2,6268					-0,0024	-0,0069				-0,0151	
9	3,3333	-0,8535	0,1785	-3,1876	0,0066	-0,0277							0,0144		
10	9,0513	-0,6936	0,1460	-2,4974		-0,0061		-0,0075							-1,9155

Tabla 5. Coeficientes de los modelos de 6 parámetros

vidad y factores ecológicos por LE GOFF & LEVY (1984) en Nord-Picardie (Francia). Se comprueba por lo tanto la adecuación de la proyección de copa como un estimador de las condiciones de espacio vital en que se ha desarrollado la especie.

Los parámetros de mayor influencia en el crecimiento son la precipitación y el porcentaje de limo. La influencia negativa de la precipitación primaveral (PP) o del superávit (SUP) indica la escasa tolerancia del Fresno al encharcamiento temporal (CLAESSENS et al., 1999; KILBRIDE, 2000). Este hecho se ha constatado en varias parcelas del programa de forestación de tierras agrarias, y se puede considerar característico del Fresno. En el mismo sentido se puede considerar el efecto negativo del porcentaje de limo (LIM y CIL) o el efecto positivo del porcentaje de arena (ARE). Este último parámetro determina la calidad de estación en uno de los modelos elaborados por KILBRIDE (2000) para estudiar la productividad del Fresno en función de parámetros edáficos. Esta autora relaciona el porcentaje en arena con la aireación del suelo y la disponibilidad de agua no estancada, indispensable para el crecimiento del Fresno.

El efecto negativo de la duración de sequía (DSQ y DEF) y positivo de la precipitación (PT y PO) indican que el crecimiento de la especie refleja el aporte hídrico recibido.

LE GOFF & LEVY (1984) establecen que los parámetros ecológicos de mayor influencia sobre la productividad son los ligados con la profundidad del suelo. En el presente estudio se ha muestreado de forma sistemática hasta 120 cm o hasta encontrar la roca madre, por lo que la profundidad carece de variabilidad suficiente para explicar el crecimiento de la especie. Los mismos autores encuentran que tras la profundidad, los factores influyentes son la topografía del terreno, en la medida en que facilite el aprovisionamiento hídrico, y la evapotranspiración. Obviando el parámetro topográfico de la microestación, que no se ha evaluado en este trabajo pero que se ha constatado fundamental en otros estudios (CLAESSENS et al., 1999), la principal diferencia es que el parámetro climático de mayor influencia es la ETP, calculado como función de la temperatura, mientras que los resultados de León y Zamora indican que el crecimiento depende en

mayor medida de la disponibilidad de agua que de la temperatura. En otro trabajo similar sobre autoecología de cerezo de monte, CISNEROS (2004) también obtuvo que la relación del incremento diametral era mayor con los parámetros climáticos térmicos que con los pluviométricos. Probablemente el ámbito de este trabajo no abarca la suficiente diversidad de latitud y altitud como para reflejar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento diametral.

Respecto a los parámetros edáficos químicos, no parecen tener una influencia evidente (LE GOFF & LEVY, 1984), aunque KILBRIDE (2000) indica que el fósforo es el único parámetro edáfico de interés cuando en el estudio entre calidad y ecología se incluyen las estaciones más pobres en las que vegeta el Fresno. Este resultado contrasta con los requisitos nutricionales que se atribuyen a la especie (KERR & CAHALAN, 2004), y podría interpretarse que en el estudio realizado los niveles de nutrientes cubren las necesidades de la especie.

BIBLIOGRAFÍA

- CISNEROS, O.; 2004. *Autoecología del cerezo de monte (Prunus avium L.) en Castilla y León*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- CISNEROS, O.; MONTERO, G.; GARCÍA, D.; MODREGO, P. Y HERNÁNDEZ, A.; 2006. La reforestación de tierras agrarias para producir madera de calidad en Castilla y León. Resultados de la Política Agraria Común. *En: Junta de Castilla y León-PROFOR CyL-FAFCYLE. Actas del I Congreso Forestal de Castilla y León. "Sector forestal y desarrollo rural"*.
- CLAESSENS, H.; PAUWELS, D.; THIBAUT, A. & RONDEUX, J.; 1999. Site index curves and autecology of ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium). *Forestry* 72(3): 171-182.
- 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.
- ELENA, R.; 1997. *Clasificación biogeoclimática de España peninsular y balear*. Ministerio

- de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- GANDULLO, J.M.; BLANCO, A.; SÁNCHEZ, O.; RUBIO, A.; ELENA, R. Y GÓMEZ, V.; 2004. *Las estaciones ecológicas de los castaños españoles*. Monografías INIA: Serie Forestal nº 7. INIA. Madrid.
- GANDULLO, J.M. Y SÁNCHEZ PALOMARES, O.; 1994. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. ICONA. Madrid.
- KERR, G. & CAHALAN, C.; 2004. A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forest Ecol. Manage.* 188: 225-234.
- KILBRIDE, C.; 2000. *Soil and site indicators for the production of high quality ash (Fraxinus excelsior L.)*. COFORD. Dublin. Irlanda.
- LE GOFF, N. & LEVY, G.; 1984. Productivité du frêne (*Fraxinus excelsior* L.) en région Nord-Picardie. B.- Étude des relations entre la productivité et les conditions de milieu. *Ann. Sci. For.* 41(2): 135-170.
- MONSERUD, R.A. & STERBA, H.; 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecol. Manage.* 80(1): 57-80.
- RUBIO, A. Y GANDULLO, J.M.; 2004. Modelos predictivos de la estructura selvícola en castaños extremeños (España). *Ecología* 8: 137-150.
- RUIZ, J.; 1990. *Mapa Forestal de España*. Memoria General. ICONA. Madrid.
- SÁNCHEZ, O.; 2001. Los estudios autoecológicos paramétricos de especies forestales. Modelos digitales. *Ponencia invitada del III Congreso Forestal Español. Montes para la sociedad del nuevo milenio*. En: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/ponencias/1500.pdf>
- SÁNCHEZ, O.; CARRETERO, M.P. Y ELENA, R.; 1993. Modelos predictivos ecológicos de la calidad de los hayedos en Navarra. En: F.J. Silva-Pando y G.Vega Alonso (eds.), *Actas del I Congreso Forestal Español 2*: 617-622. Grafol. Vigo.
- SÁNCHEZ, O.; SÁNCHEZ, F. Y CARRETERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular*. INIA. Madrid.
- SANTIAGO, G.; CISNEROS, O.; GARCÍA, D.; MODREGO, P.; HERNÁNDEZ, A. Y MONTERO, G.; 2006. Crecimiento en ramas de *Fraxinus excelsior* L. en parcelas agrícolas excedentarias de la provincia de Soria. Recomendaciones de poda. *Foresta* 32: 64-73.
- VANCLAY, K.; 1994. *Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests*. CAB International. Londres.
- WYKOFF, W.R.; 1990. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. *For. Sci.* 36(4): 1077-1104.