

MODELO DE CALIDAD DE ESTACIÓN PARA EL CEREZO DE MONTE (*Prunus avium* L.) EN CASTILLA Y LEÓN MEDIANTE LA RELACIÓN ENTRE INCREMENTO DIAMETRAL Y PARÁMETROS ECOLÓGICOS.

Oscar Cisneros González (1)

Otilio Sánchez Palomares (2)

(1) Centro de Investigación y Experiencias Forestales Valonsadero. Junta de Castilla y León. Apdo. nº 175. 42080. Soria. Email: cisgonos@jcy.es

(2) CIFOR-INIA. Apdo. 8111 Madrid. Email: otilio@inia.es

Mesa Temática: Mesa 1. Caracterización, dinámica y biodiversidad de los ecosistemas forestales.

RESUMEN

A partir de los datos dasométricos de una muestra de 230 cerezos medidos en 50 bosquetes silvestres de Castilla y León, se estudia el efecto de la calidad de estación sobre el crecimiento diametral, mediante un modelo de incremento diametral de árbol individual en el que intervienen el efecto del tamaño del árbol, la competencia y varios parámetros ecológicos. Una vez eliminados los efectos del tamaño y la competencia, se evalúa el efecto de la calidad de estación, a través de 15 parámetros ecológicos que sintetizan la información aportada por 49 parámetros de fisiografía, clima y edafología de la estación. En el modelo propuesto, el incremento diametral del cerezo depende más de la competencia que del tamaño del árbol. Los únicos parámetros ecológicos significativos en el modelo son ETP (evapotranspiración) y CN (relación carbono/nitrógeno). La inclusión de CN, aunque explica poca variabilidad, parece implicar que la tasa de mineralización tiene una influencia directa sobre el crecimiento. Parece evidenciarse que el rango de precipitación estudiado (más de 573 mm anuales, de los cuales 234 entre marzo y agosto) no implica problemas serios de sequía fisiológica para la especie. Se concluye que los parámetros ecológicos con mayor implicación en el incremento diametral son los relacionados con el balance térmico de la estación.

Palabras clave: Cerezo, *Prunus avium* L., autoecología, modelo de incremento diametral.

INTRODUCCIÓN

El principal escollo que se plantea a la hora de abordar la plantación de cerezo en Castilla y León es la ausencia de experiencias previas. No existen plantaciones con edad suficiente para que sirvan como referencia en cuanto a la adecuación de las distintas estaciones o los crecimientos esperados. En ausencia de masas cercanas a la zona a reforestar, la elaboración de modelos de crecimiento que cuenten con parámetros ecológicos como variables independientes constituye una herramienta necesaria para evaluar la capacidad productiva de la estación (KAYAHARA et al., 1998; CORONA et al., 1998; WANG y KLINKA, 1996). En España se han desarrollado con éxito modelos de este tipo para varias especies forestales -*Pinus* sp., (GANDULLO y SÁNCHEZ PALOMARES, 1994); *Fagus sylvatica* L. (SÁNCHEZ et al., 1993); *Castanea sativa* Miller (RUBIO, 1993)-.

Para evaluar la calidad de estación y estimar la productividad forestal, se ha empleado tradicionalmente el índice de sitio, referido a la altura dominante alcanzada a una edad determinada. Sin embargo el desarrollo en altura del cerezo en Castilla y León se ve afectado habitualmente por el efecto de las heladas y la nieve debido a su temprana foliación y a que ocupa preferentemente las zonas más montañosas de la región. La ramificación monopodial de la especie no permite que la copa se reconstruya con facilidad cuando el brote terminal sufre algún tipo de daño (CARAGLIO, 1996), por lo tanto la relación altura-edad puede llevar a una asignación errónea de la calidad de estación (BARTOLI y DALL'ARMI, 1996). Por otra parte, es difícil determinar los árboles dominantes en bosquetes de estructura irregular en los que el cerezo cuenta con pocos ejemplares y se comporta como especie secundaria.

El principal inconveniente de los métodos de estimación de calidad de estación basados en el diámetro es su dependencia respecto a las actuaciones selvícolas, derivado de la sensibilidad del incremento diametral a la competencia. Una aproximación al estudio de relación entre calidad de estación y variables ecológicas es plantear un modelo de incremento diametral de árbol individual que tenga en cuenta el efecto conjunto del tamaño del árbol, la competencia y las variables ecológicas. WYKOFF (1990) elaboró un modelo de este tipo para coníferas, con la ventaja de no incluir como variables independientes la edad ni el índice de sitio. Aunque el efecto de estos parámetros sobre el crecimiento diametral es significativamente menor que las variables de tamaño y competencia, el modelo permite extraer conclusiones respecto a la relación crecimiento-parámetros ecológicos mediante el análisis de los coeficientes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos empleados

Tras un proceso de estratificación del territorio ocupado por el cerezo en Castilla y León (menos de 10.000 ha en una región que ocupa más de 9.106 ha) en función de parámetros fisiográficos, climáticos y litológicos, se seleccionaron 50 parcelas de forma que estuvieran representadas las distintas estaciones que ocupa la especie y que se barriera toda su área de distribución. En cada parcela se seleccionaron los 5 cerezos (en ocasiones 3) con menos síntomas de competencia y de mayor vigor. En estos árboles se midieron diámetro normal (Dnormal), diámetro de copa (Dcopa) en dos direcciones perpendiculares, altura total (Altura), altura de copa (Acopa) y se extrajo un cores en la base mediante barrena Pressler (Edad). Un resumen de los datos se recoge en la tabla 1.

Se midieron los anillos de crecimiento mediante una tableta digitalizadora de posicionamiento lineal LINTAB, y la información fue procesada y almacenada con el software TSAP ©.

Tabla 1. Resumen del conjunto de cerezos muestreados en las 50 parcelas.

	Dnormal (cm)	Dcopa (cm)	Altura (m)	Acopa (m)	Edad	Densidad pies mayores (arb/ha)	Densidad pies menores (arb/ha)	Área basimétrica (m ² /ha)
Media	18,8	495	14,4	8,4	37	921	2299	20,59
Desviación estándar	7,8	196	3,8	2,9	14	523	2206	9,88
Mínimo	5,9	154	6,3	0,8	14	150	0	0,41
Máximo	56,7	1172	25	17,6	102	3025	10925	50,56
Nº de datos	230	229	229	229	209	50	50	50

Para cada parcela se obtuvo un conjunto de parámetros caracterizadores de los factores climáticos, edáficos y fisiográficos (una descripción completa se encuentra en CISNEROS, 2004):

Parámetros fisiográficos: ALT (altitud), PND (pendiente), DRE (drenaje), ERO (erosión), INS (insolación), TTG (termotopográfico), RES (resguardo), SME (sentido del mesoentorno), SME (sentido del macroentorno), RUG (rugosidad)

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), OSC (oscilación térmica), ETP (evapotranspiración anual), SUP (suma de superávits), DEF (suma de déficits), IH (índice hídrico), DSQ (duración de la sequía), ISQ (intensidad de la sequía), IV (índice de Vernet)

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), CAC (carbonato cálcico activo), CIN (carbonato cálcico inactivo), CN (relación carbono/nitrógeno), CIC (capacidad de intercambio catiónico)

Parámetros edafoclimáticos: ETR (Evapotranspiración real máxima posible), SF (Sequía fisiológica), DRJ (Drenaje)

Modelo de incremento diametral de árbol individual.

Existen múltiples funciones empleadas en la predicción del incremento diametral. Según VANCLAY (1994), una generalización de la ecuación de Bertalanffy para incremento diametral del tipo

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

ha sido empleada en numerosos modelos, permite un ajuste sencillo y ofrece predicciones robustas.

En este trabajo el intervalo de tiempo contemplado en Δd es de 10 años. Los dos términos funciones del diámetro ($\beta_1 \ln d + \beta_2 d^k$) evalúan el efecto del tamaño del árbol sobre el incremento diametral. En nuestro caso el término “d” es el diámetro en la base sin corteza calculado como la diferencia entre el diámetro actual sin corteza en la base 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 del sitio, entendido este último como el efecto conjunto de la fisiografía, el clima y el suelo. El interés de este trabajo es evaluar la importancia relativa de los distintos parámetros ecológicos, por lo tanto en esta ecuación no se incluye un término relativo al índice de sitio o a la edad, ya que podrían absorber una parte importante del efecto de las variables ecológicas.

La evaluación del efecto de la competencia, el vigor del árbol y su situación de dominancia respecto a otros árboles, requiere del empleo de índices específicos, entre los más empleados en modelos de árbol individual se encuentran CCF (crown competition factor), BAL (área basimétrica en árboles de diámetro superior al considerado), o CR (porcentaje de altura de copa respecto a la altura total). El cálculo de estos valores requiere de mediciones de todos los árboles de la parcela en el momento inicial de la modelización, sin embargo sólo disponemos de la medición actual. Para solventar este problema, algunos autores han recurrido al empleo de regresiones entre las distintas variables y el momento de la medición (COLE y LORIMER, 1994) o entre algunas variables, como el diámetro de copa en función del diámetro normal (MONSERUD y STERBA, 1996).

Ninguno de estos métodos es aplicable a los datos disponibles, por lo que se recurre al empleo de dos índices de competencia calculados con los datos actuales, CR y Dcopa. Siguiendo a WYKOFF (1990), se considera que CR no varía de forma importante en el tiempo, y el error cometido al emplear el valor actual es sustancialmente menor que el error asociado a la medición. Este índice es un indicador del vigor del árbol, y también refleja el grado de competencia al que ha estado sometido el árbol además de ser un evaluador del efecto del tamaño del árbol sobre su crecimiento (MONSERUD y STERBA, 1996). Dcopa actual presenta una buena correlación con el incremento diametral en el periodo previo, por lo tanto es una variable interesante para describir el crecimiento, aunque no tiene el mismo interés en la predicción del incremento diametral futuro (VANCLAY, 1994). Se puede entender Dcopa actual como un estimador del área potencial disponible (APD) para el crecimiento del árbol en el periodo anterior. En un estudio sobre índices de competencia para *Pinus taeda* L., DANIELS et al. (1986) concluyen que tanto APD como la relación APD/área basal del árbol (área potencial disponible relativa) son los índices de competencia que presentan mayor correlación parcial con el crecimiento en diámetro cuando en el modelo se incluyen variables de tamaño del árbol y de densidad de la plantación. Por lo tanto se puede plantear que tanto Dcopa como la relación Dcopa/dbase son indicadores de APD. El modelo, sin incluir el efecto de los parámetros ecológicos es:

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

donde $\ln\Delta_{10}$ es el logaritmo natural del incremento diametral (cm) en los últimos 10 años, $\ln d_{10}$ es el logaritmo natural del diámetro (cm) en la base 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 (cm), 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.

Tras el análisis de datos influyentes sobre la variable dependiente, variables independientes y la precisión de los coeficientes de regresión mediante los estadísticos Dffits, Dfbetas y Covratio según los valores de corte propuestos por MYERS (1990), se analiza la existencia de multicolinealidad entre las variables independientes mediante el factor de incremento de la varianza (FIV) y el índice de condicionamiento (ICO) con valores de corte 10 y 30 respectivamente, según la propuesta de PEÑA (1989).

Evaluación del efecto de los parámetros ecológicos

Una vez descontado del modelo el efecto del tamaño del árbol y de la competencia, la siguiente fuente de variación es el efecto de los parámetros ecológicos sobre el incremento en diámetro. Se realiza una selección previa de parámetros para minimizar el riesgo de multicolinealidad. Para ello se realiza una agrupación automática, mediante el procedimiento CLUSTER de SAS ©. El método de agrupación escogido es el de Ward, ya que minimiza la varianza dentro de los grupos y la maximiza entre ellos (SAS, 1989). Con el objetivo de que la correlación entre parámetros sea la causa de la creación de grupos, la agrupación se realiza a partir de una matriz de distancias entre parámetros.

$$D_{ij} = 1 - \rho_{ij}^2$$

donde D_{ij} = distancia entre los parámetros i y j , ρ_{ij}^2 = cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson entre los parámetros i y j .

El proceso de agrupamiento se realiza por separado para los parámetros climáticos, fisiográficos y edáficos, sin incluir los edafoclimáticos dado que sólo son 3. En cada conjunto de parámetros se han seleccionados 4 grupos de forma que el peso relativo de cada factor (climático, edáfico y fisiográfico) sea similar, además de asegurar que los distintos aspectos ecológicos que representan estos factores estén convenientemente representados (permeabilidad, complejidad del terreno, mediterraneidad, continentalidad, etc). Para seleccionar un parámetro representativo de cada grupo se estudia la correlación entre parámetros y la variable ε de la ecuación (2). También se analizan transformaciones de los parámetros y su correlación con ε , de forma que se pueda mejorar el coeficiente de determinación del modelo final, según. Las transformaciones ensayadas son $\ln(X)$, $\ln(X+1)$, $1/X$, X^2 , \sqrt{X} , $\sqrt{X+0,5}$.

Los parámetros seleccionados se incluyen en el modelo

$$\ln\Delta_{10} = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{10} + \beta_2 d_{10}^2 + \beta_3 CR + \beta_4 Dcopa + \beta_5 Dcopa/dbase + \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_i P_i \dots +$$

$$\alpha_n P_n \quad (3)$$

donde P_i es cada uno de los parámetros o transformaciones seleccionados.

La selección de parámetros se realiza estudiando en primer lugar el número de variables a incluir según el criterio de Mallows.

Una vez que se determina el número de parámetros a incluir en el modelo se selecciona el de mayor coeficiente de determinación, observando que los parámetros sean significativos y no existan problemas de multicolinealidad. Los cálculos correspondientes se realizan con el procedimiento REG de SAS ©, mediante ajuste por mínimos cuadrados.

RESULTADOS

En el ajuste de la ecuación (1) la única variable no significativa es CR. Los resultados del ajuste de la ecuación (1) una vez eliminada esta variable, se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 2. Resultado del ajuste de la ecuación (1)					
Análisis de la varianza					
<i>Fuente de variación</i>	<i>GL</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Cuadrados medios</i>	<i>Estadístico F</i>	<i>Pr > F</i>
<i>Modelo</i>	4	36,73876	9,18469	95,46	< 0,0001
<i>Error</i>	191	18,37801	0,09622		
<i>Total</i>	195	55,11677			
<i>CV</i>		<i>R²</i>	<i>R² corregido</i>	<i>PRESS</i>	
22,23		0,6666	0,6596	19,66848	

Estimación de los parámetros					
<i>Variable</i>	<i>Parámetros estimados</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Pr > t </i>	<i>Parámetros estandarizados</i>	<i>FIV</i>
<i>constante</i>	4,6597	0,2154	< 0,0001		
<i>ln_d10</i>	-1,1447	0,0826	< 0,0001	-1.2768	4,8719
<i>d₁₀²</i>	-0,0014	0,0001	< 0,0001	-0.7181	4,1989
<i>Dcopa</i>	0,0046	0,0002	< 0,0001	1,5251	5,0034
<i>Dcopa/dbase</i>	-0,0834	0,0047	< 0,0001	-1,3664	3,4541

El modelo explica el 66,6 % de la variabilidad en el incremento diametral, y todas las variables son significativas. El valor del estadístico Press es similar a la suma de cuadrados de los residuos por lo que no es destacable la presencia de datos aberrantes o influyentes. Los valores de FIV son aceptables y no evidencian problemas de colinealidad, aunque el valor de ICO roza el admisible para considerar que existe multicolinealidad moderada.

En la tabla 3 se recoge la correlación entre los parámetros ecológicos y los residuos ϵ de la ecuación (1). En los casos en que el parámetro no está correlacionado con los residuos pero alguna de sus transformaciones presenta correlación significativa, se reflejan los valores de la variable transformada. Hay 14 parámetros que presentan relación lineal con los residuos.

Tabla 3.- Coeficiente de correlación lineal de Pearson (ρ) y probabilidad asociada (p) entre ϵ (ecuación 1) y los parámetros ecológicos.								
Parámetros climáticos			Parámetros edafoclimáticos			Parámetros edáficos		
	ρ	p		ρ	p		ρ	p
PA	0.081	0.2570	1/ETR	-0.148	0.0376	CRA	0.016	0.8228
PI	0.096	0.1791	SF ²	0.171	0.0163	TF	-0.006	0.9260
PP	0.097	0.1753	DRJ	0.059	0.4071	1/ARE	0.152	0.0323
PV	-0.061	0.3928				LIM	0.096	0.1794
PO	0.066	0.3528				ARC	0.089	0.2122
TM	0.308	<0.0001				PER	-0.070	0.3279

TMC	0.189	0.0077	Parámetros fisiográficos			CCC	0.098	0.1717
TMF	0.277	<0.0001				CIL	0.040	0.5763
OSC	-0.070	0.3251		ρ	p	HE	0.085	0.2325
ETP	0.313	<0.0001	ALT	-0.286	<0.0001	MO	-0.091	0.2037
DEF	0.145	0.0413	PND	-0.064	0.3724	PHA	0.071	0.3180
SUP	0.059	0.4071	INS	0.051	0.4723	PHK	0.040	0.5733
IH	0.001	0.9855	TTG	0.048	0.5001	N	-0.016	0.8153
DSQ	0.051	0.4716	1/RES	0.280	<0.0001	CN	-0.206	0.0037
ISQ ²	0.161	0.0235	ln(SME+1)	0.159	0.0257	CIC	0.004	0.9483
IV	-0.162	0.0231	SMA	0.090	0.2074	CAC	0.089	0.2126
			RUG	0.016	0.8180	CIN	0.105	0.1404

El resultado del proceso de agrupamiento de los parámetros ecológicos indica que los parámetros climáticos se dividen en un grupo representativo del factor térmico, otro del pluviométrico, otro de la sequía estival (mediterraneidad) y por último un parámetro relacionado con la continentalidad. Los cuatro grupos de parámetros fisiográficos representan respectivamente la radiación (insolación) recibida por la parcela, la complejidad del terreno, la situación respecto a los vientos húmedos y la altitud. Los parámetros edáficos se dividen en dos grupos de parámetros químicos, uno de reacción y otro de fertilidad y dos grupos de parámetros físicos que representan la textura y la capacidad de retención de agua de la parcela. Se incluyen los 3 parámetros edafoclimáticos porque son síntesis de los anteriores y están relacionados con la productividad de la parcela.

El modelo completo, una vez seleccionados los parámetros representativos de cada grupo tiene la siguiente forma:

$$\ln \Delta d_{10} = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{10} + \beta_2 d_{10}^2 + \beta_3 D_{\text{copa}} + \beta_4 D_{\text{copa}}/d_{\text{base}} + \alpha_1 \text{ETP} + \alpha_2 \text{PP} + \alpha_3 \text{TMC} + \alpha_4 \text{OSC} + \alpha_5 \text{INS} + \alpha_6 1/\text{RES} + \alpha_7 \ln(\text{SME}+1) + \alpha_8 \text{ALT} + \alpha_9 \text{PHA} + \alpha_{10} 1/\text{ARE} + \alpha_{11} \text{CN} + \alpha_{12} \text{CIL} + \alpha_{13} 1/\text{ETR} + \alpha_{14} \text{SF}^2 + \alpha_{15} \text{DRJ} + \varepsilon \quad (4)$$

El análisis gráfico de la evolución del parámetro Cp respecto al número de variables independientes incluidas en el modelo indica que se deben estudiar los modelos con 6 variables independientes que incluyan las cuatro variables de tamaño y competencia ($\ln d_{10}$, d_{10}^2 , D_{copa} y $D_{\text{copa}}/d_{\text{base}}$).

En la tabla 4 se recogen los 5 modelos con mayor coeficiente de determinación para 6 variables en el modelo, junto con los correspondientes a los de 5 variables.

Variables en el modelo	R ²	Cp	Variables iniciales
4	0,6666	29,8169	$\ln d_{10}$ d_{10}^2 D_{copa} $D_{\text{copa}}/d_{\text{base}}$
			Variables añadidas
5	0,7011	9,4940	ETP
5	0,6981	11,4001	ALT
5	0,6944	13,8149	1/RES
5	0,6816	22,0817	CN
5	0,6786	23,9970	TMC
6	0,7167	1,3631	ALT 1/RES
6	0,7096	5,9758	ETP 1/RES
6	0,7087	6,5694	ETP CN
6	0,7072	7,5010	1/RES 1/ARE
6	0,7066	7,8804	ALT SF ²

Se observa que la variable que aporta más información de forma individual es ETP, ya que aumenta R² en un 3, 45 %. Es similar el efecto de ALT, debido a que ambos parámetros se relacionan estrechamente con la temperatura de la parcela y tienen una correlación significativa. ETP es más interesante que ALT ya que refleja un factor que actúa directamente sobre el árbol, además de incorporar a la información sobre altitud la de

latitud. Por esto es preferible contar en el modelo con ETP, aunque el mejor modelo de dos variables es el que incluye ALT y 1/RES. No existe apenas diferencia entre los dos modelos de 6 variables que incluyen ETP. A pesar de que el mayor R^2 corresponde al modelo ETP 1/RES, la observación del gráfico de residuos correspondiente a la regresión parcial de 1/RES evidencia que el efecto de esta variable se debe a la influencia de dos únicas parcelas que se alejan notablemente del resto. Por lo tanto el modelo escogido es $\ln\Delta d_{10} = \beta_0 + \beta_1 \ln d_{10} + \beta_2 d_{10}^2 + \beta_3 Dcopa + \beta_4 Dcopa/dbase + \alpha_1 ETP + \alpha_3 CN + \varepsilon$ (5)

Tabla 5. Resultado del ajuste de la ecuación (5)

Análisis de la varianza					
Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico F	Pr > F
Modelo	6	39,51700	6,58617	89,15	< 0,0001
Error	185	13,66708	0,07388		
Total	191	53,18408			

CV	R ²	R ² corregido	PRESS
19,39679	74,30	73,47	14,90498

Estimación de los parámetros

Variable	Parámetros estimados	Error estándar	Pr > t	Parámetros estandarizados	FIV
constante	3,7224	0,3723	< 0,0001		
$\ln d_{10}$	-1,1045	0,0743	< 0,0001	-1,23355	4,9659
d_{10}^2	-0,0013	0,0001	< 0,0001	-0,62539	4,2433
Dcopa	0,0043	0,0002	< 0,0001	1,42452	5,2546
Dcopa/dbase	-0,0828	0,0044	< 0,0001	-1,29151	3,4336
ETP	0,0020	0,0004	< 0,0001	0,17695	1,0877
CN	-0,0355	0,0111	0,0018	-0,12373	1,0929

Aunque en este modelo se produce un ligero aumento de FIV para Dcopa, el análisis del índice de condicionamiento sólo detecta multicolinealidad para la constante, lo cual no supone ningún problema en el modelo planteado.

Sobre el modelo propuesto hay que hacer las siguientes consideraciones. El parámetro ETP tiene un coeficiente de determinación parcial del 3,85 % mientras que CN alcanza el 1,40 %. Aunque el coeficiente de este último parámetro es significativo, la varianza explicada es escasa. Respecto al parámetro ETP hay que señalar que su aportación al modelo es similar a la que supone TM o ALT, por lo que la sustitución de ETP por cualquiera de los anteriores proporcionaría un modelo similar.

En caso de realizar la inclusión de variables mediante el ajuste paso a paso incremental, de forma que cada variable sea incluida para maximizar el coeficiente de determinación, se obtiene que la variable más correlacionada con el crecimiento diametral es ETP, por delante de la variable de tamaño del árbol $\ln d_{10}$ (tabla 6). ETP explica individualmente el 10,72 % de la variabilidad en crecimiento, aunque como se ha visto anteriormente, este porcentaje se reduce al 3,85 % cuando se ha descontado el efecto del tamaño y de la competencia. Por su parte el parámetro CN no experimenta diferencias en la variabilidad explicada ya que es la última variable que se incorpora al modelo y su aportación es escasa.

Tabla 6. Coeficientes de determinación parcial y total según el ajuste paso a paso incremental

Variables incluidas en cada paso	R ² parcial (%)	R ² acumulado (%)
ETP	0,1072	0,1072
	0,0945	0,2018

Ind_{10}		
$Dcopa/dbase$	0,1147	0,3165
$Dcopa$	0,3125	0,6290
d_{10}^2	0,1000	0,7290
CN	0,0140	0,7430

DISCUSIÓN

El modelo de incremento diametral como función de las variables de tamaño y competencia, explica un alto porcentaje de la varianza. En este modelo el mayor peso corresponde a $Dcopa$, indicador del área disponible con que ha contado el árbol en su desarrollo. En segundo lugar hay que tener en cuenta el área disponible relativa, $Dcopa/dbase$. Por detrás de estas variables se sitúan las de tamaño del árbol. Parece evidente que en el modelo propuesto, el incremento diametral del cerezo depende más de la competencia que del tamaño del árbol. Esta característica coincide con la descripción habitual del cerezo como especie de luz, intolerante a la competencia (FRANC y RUCHAUD, 1996), y se relaciona directamente con la estrategia de desarrollo típica de especies de distribución dispersa como el cerezo o el serbal. En los claros de los bosques o en sus límites es donde los brinzales de esta especie tienen una ventaja sobre otras especies, ya que cuentan con espacio vital suficiente para que su mayor crecimiento inicial y su temprana foliación se impongan sobre el de pinos, castaños o haya. Esta ventaja se vuelve en su contra cuando aumenta la competencia y el espacio disponible es insuficiente.

También evidencia la aptitud de la especie para la reforestación en terrenos agrarios, al ser estaciones de alta insolación en las que se puede partir de espaciamientos relativamente amplios.

El alto porcentaje de variabilidad explicada ($R^2 = 66,66\%$), contrasta con el de otros trabajos (WYKOFF, 1990; MONSERUD y STERBA; 1996), TRASOBARES et al., 2004). El motivo de que este modelo explique de forma aparentemente adecuada el incremento diametral, es la inclusión del diámetro de copa actual, según recoge VANCLAY (1994). El modelo carece por lo tanto de capacidad predictiva, a diferencia de los citados anteriormente.

El análisis de la correlación entre los parámetros ecológicos y los residuos del modelo anterior indica que los parámetros térmicos son los de mayor influencia sobre el crecimiento en diámetro. El modelo de incremento diametral no presenta ninguna relación con la precipitación, y en todas las relaciones están implicado directa o indirectamente el balance térmico de la estación. Así, las relaciones negativas con ALT, $1/ETR$ o positivas con TM, TMF y ETP reflejan la influencia directa de la temperatura sobre el crecimiento, pero a diferencia de los modelos de calidad de estación, hay parámetros relacionados con la sequía estival como TMC, ISQ^2 , SF^2 o IV que también se relacionan con signo positivo con el crecimiento. El efecto negativo de la tasa de mineralización también se pueden englobar en el efecto indirecto de la temperatura (en las parcelas más térmicas hay mayores crecimiento y también menores porcentajes de la relación CN, al ser más rápida la mineralización).

La relación positiva entre $1/ARE$ y el crecimiento se puede interpretar como una relación directa entre textura y crecimiento. Sin embargo, a la vista de los resultados encontrados en el estudio sobre autoecología de la especie (CISNEROS, 2004), hay que considerar como explicación más probable la estructuración latitudinal de la textura, por lo tanto se trata de nuevo de una relación indirecta entre crecimiento y temperatura.

Los únicos parámetros ecológicos significativos en el modelo son ETP y CN. La inclusión de un parámetro relacionado con el balance térmico (ETP) anula la presencia de los otros parámetros térmicos, incluido $1/ARE$ por la mencionada estructuración latitudinal de la textura. Hay que considerar al parámetro ETP como un representante del grupo de parámetros térmicos, ya que se generan modelos similares con TM, ALT o TMF. La inclusión de CN, aunque explica poca variabilidad, parece implicar que la tasa de mineralización tiene una influencia directa sobre el crecimiento, distinta de la relación de este parámetro con la temperatura.

La variabilidad explicada por los parámetros ecológicos es similar a la encontrada en otros modelos de incremento diametral (MONSERUD y STERBA, 1996).

Parece evidenciarse que el rango de precipitaciones estivales estudiado (más de 573 mm anuales, de los cuales 234 entre marzo y agosto) no implica problemas serios de sequía fisiológica para la especie, pues no llega a influir negativamente sobre el crecimiento. También es claro que la temperatura es el parámetro ecológico (entre los estudiados) de mayor influencia sobre el crecimiento en diámetro. Este resultado está en la línea del expuesto por YAUSSY et al. (1997) en un modelo de incremento diametral en función de parámetros ecológicos. Estos autores encuentran que, tanto aplicando regresión lineal como árboles de regresión, la temperatura media en el periodo vegetativo es la variable de mayor peso. Por otro lado, la precipitación no se relaciona con el incremento diametral, aunque los autores no concluyen nada al respecto.

BIBLIOGRAFÍA

- BARTOLI, M.; DALL'ARMI, C. (1996). "Critères d'exploitabilité de l'éradle sycomore, de l'éradle plane, du merisier et du frêne commun dans les Pyrénées centrales et leur piémont." *Revue Forestière Française* XLVIII: 42-48.
- CARAGLIO, Y. (1996). "Le développement architectural du merisier." *Fôret-entreprise* 107: 72-80.
- CISNEROS, O. (2004). Autoecología del cerezo de monte (*Prunus avium* L.) en Castilla y León. Universidad Politécnica de Madrid.
- COLE, W.G.; LORIMER, C.G. (1994). "Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwoods stands." *Forest Ecology and Management* 67: 159-175.
- CORONA, P.; SCOTTI, R.; TARCHIANI, N. (1998). "Relationship between environmental factors and site index in Douglas-fir plantations in central Italy." *Forest Ecology and Management* 110: 195-207.
- FRANC, A.; RUCHAUD, F. (1996). Autécologie des feuillus précieux; frêne commun, merisier, éradle sycomore, éradle plane.
- GANDULLO, J.M.; SÁNCHEZ PALOMARES, O. (1994). Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Madrid, ICONA.
- KAYAHARA, G.J.; KLINKA, K.; MARSHALL, P.L. (1998). "Testing site index-site-factor relationships for predicting *Pinus contorta* and *Picea engelmannii* x *P. glauca* productivity in central British Columbia, Canada." *Forest Ecology and Management* 110: 141-150.
- 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 Ecology and Management* 80(1): 57-80.
- MYERS, R.H. (1990). Classical and modern regression with applications, Second edition. Boston, PWS and Kent Publishing Company Inc.
- PEÑA, D. (1989). Estadística. Modelos y métodos. 2. Modelos lineales y series temporales. Madrid, Alianza editorial.
- RUBIO, A. (1993). Estudio ecológico de los castaños de Extremadura. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- SÁNCHEZ, O.; CARRETERO, M.P.; ELENA, R. (1993). Modelos predictivos ecológicos de la calidad de los hayedos en Navarra. Congreso Forestal Español, Lourizán.
- TRASOBARES, A.; PUKKALA, T.; MIINA, J. (2004). "Growth and yield model for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain." *Annals of Forest Science* 61(1): 9-24.
- WANG, G.G.; KLINKA, K. (1996). "Use of synoptic variables in predicting white spruce site index." *Forest Ecology and Management* 80: 95-105.
- WYKOFF, W.R. (1990). "A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains." *Forest Science* 36(4): 1077-1104.
- YAUSSY, D.; IVERSON, L.; PRASAD, A. (1997). Diameter-growth model across shortleaf pine range using regression tree analysis. Empirical and process-based models for forest tree and stand growth simulation, Oeiras (Portugal).