

MODELOS PREDICTIVOS DE LA ESTRUCTURA SELVICOLA EN CASTAÑARES EXTREMEÑOS (España)

A. RUBIO SÁNCHEZ¹ y J. M. GANDULLO GUTIÉRREZ¹

RESUMEN

Se estudian una serie de datos fisiográficos, climáticos y edáficos del territorio ocupado por *Castanea sativa* Miller en la Comunidad Autónoma de Extremadura y se evalúan los caracteres selvícolas de estas masas. En primer lugar, se selecciona un reducido número de parámetros representativos de la estructura selvícola de ellas. Asimismo, se establecen unos modelos predictivos de dicha estructura en función de los parámetros ecológicos escogidos por el análisis de regresión.

Palabras clave: *Castanea sativa*, Extremadura, parámetros ecológicos, parámetros selvícolas, análisis de regresión.

INTRODUCCION

Según los datos proporcionados por el Primer Inventario Forestal Nacional (realizado en el decenio 1965-1974), la superficie forestal arbolada de castaño (*Castanea sativa* Miller) en Extremadura era de 11.962 ha y en todo el territorio nacional 126.558 ha (ICONA, 1976).

Apenas hay estudios ecológicos generales sobre castañares, y en general, han estado supeditados a otras formaciones. GANDULLO *et al.* (1983) abordan el estudio de estas formaciones en las zonas de cierta altitud de Asturias y Cantabria desde una perspectiva ecológica multidisciplinar, aunque integrada en una visión territorial y no de autoecología de la especie.

Desde hace unos años venimos trabajando en distintos aspectos relacionados con estas formaciones en la Comunidad Autónoma de Extremadura (RUBIO, 1993a). Así, podemos afirmar que en Extremadura se sitúan entre los 600 y los 1.000 metros (aunque pueden alcanzar los 1.200 metros de altitud), evitan las orientaciones de solana y las cuencas expuestas sotavento de los vientos ábregos (RUBIO, 1993a); los suelos son bastante permeables y muy variables en cuanto a pedregosidad superficial y grado de erosión del terreno (RUBIO, 1993b).

Esta especie presenta una doble perspectiva en su manejo, maderero y frutero, que se ve reflejada en forma notoria en las características edáficas. Los suelos de los castañares madereros poseen contenidos de fósforo y potasio asimilables significativamente más altos que los suelos de los castañares fruteros. Esto se debe a que en los castañares madereros el aporte de hojarasca al suelo es mucho mayor que en los fruteros, ya que estos últimos presentan una densidad de pies muy inferior, a la vez que es muy frecuente que se efectúe en ellos alguna labor agrícola con la que se elimina el sotobosque. Estos dos hechos impiden que la incorporación de estos elementos al suelo posea una cuantía equiparable en ambos tipos de castañares, y que puedan contrarrestar la mayor facilidad de lavado que muestran los castañares madereros cuyos suelos son más permeables (RUBIO *et* GANDULLO, 1993).

Profundizando más en los distintos aspectos ecológicos y selvícolas del castaño y en su recíproca interacción, nos hemos planteado, en el presente estudio, analizar los patrones de la estructura selvícola de estas masas (estructura del vuelo arbóreo, determinación de existencias y de crecimientos, medida tridimensional de la espesura, evaluación de la actividad productora de biomasa del castaño) desde una perspectiva ecológica, basada en aspectos fisiográficos, edáficos y climáticos de los biotopos donde se encuentra *Castanea sativa* Miller en la Comunidad Autónoma de Extremadura.

¹ Dpto. Silvopascicultura. E.T.S.I. de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. E-28040 Madrid.

MATERIAL Y METODOS

Los datos proceden de 30 puntos de muestreo elegidos tras la estratificación del territorio ocupado por los castañares, sobre los que se aplicaron criterios de selección orientada. De esta manera las parcelas son las más representativas de la variabilidad fisiográfica, climática y litológica de cada una de las zonas homogéneas en que se ha dividido la totalidad del territorio (RUBIO, 1993a). La situación de dichos puntos se muestra en el mapa de la Figura 1.

Para determinar los parámetros que pueden ser

considerados como indicadores de la calidad selvícola se elaboraron las siguientes variables (BLANCO *et al.*, 1989): densidad de pies por hectárea, densidad de cepas por hectárea, área basimétrica total, índice de Hart por número de cepas, altura máxima de la vegetación, fracción de cubierta y tipo de producción. Ver Apéndice 1.

En cada punto de muestreo se han evaluado un total de 47 parámetros ecológicos relacionados con la estructura del biotopo. Los parámetros climáticos han sido: precipitación anual, de primavera, de verano, de otoño y de invierno, tempera-

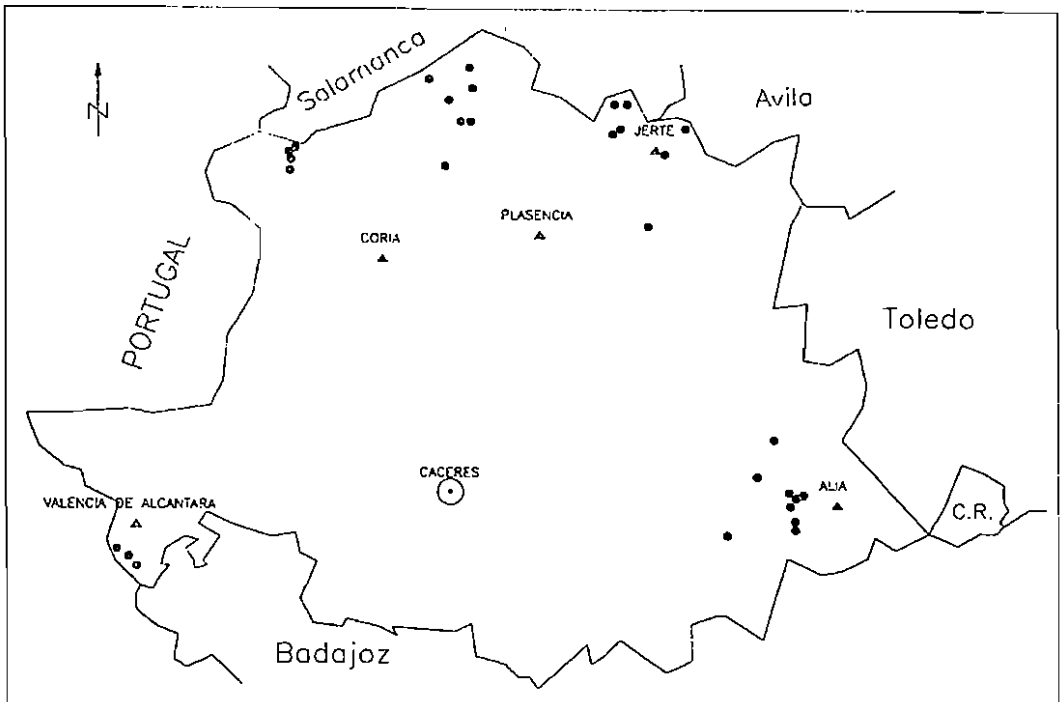


Fig. 1. Localización de las parcelas estudiadas.

cura media anual, de las máximas del mes más cálido y de las mínimas del mes más frío, oscilación térmica, fecha de la última helada, suma de las evapotranspiraciones potenciales de Thornthwaite de las de los seis meses más fríos y de las de los seis meses más cálidos, índice de Vernet, suma de superávits y de déficits, índice híbrido, duración de la sequía e intensidad de la sequía.

Las variables que se han medido para caracterizar fisiográficamente los castañares han sido: pendiente, altitud, pedregosidad superficial, drenaje superficial, erosión, insolación, complejidad del entorno, coeficiente de resguardo de vientos y sentido del mesoentorno.

Los parámetros edáficos y edafoclimáticos seleccionados fueron: tierra fina, arena, limo, arcilla, coeficientes de capacidad de cementación y de impermeabilidad debida al limo, humedad equivalente, permeabilidad, capacidad de retención de agua, materia orgánica, acidez actual y de cambio, nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, fósforo, potasio adsorbido al coloide, evapotranspiración real máxima, sequía fisiológica y drenaje calculado del suelo. Una explicación más detallada de todos estos parámetros abióticos la podemos encontrar en el Apéndice 2 (los datos de todos estos parámetros se pueden ver en RUBIO, 1993a).

Los valores del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre las siete variables selvícolas son adecuados para seleccionar aquellas que pueden ser consideradas como índices representativos de la calidad selvícola.

Para dilucidar las relaciones que existen entre el índice selvícola y los parámetros ecológicos evaluadores del biotopo, GANDULLO *et al.* (1991) creen conveniente hacer un sondeo previo con el que detectar el intervalo del rango de variación del parámetro ecológico en el que tienden a darse los valores extremos del índice de calidad selvícola. De este modo, cuando el valor máximo o mínimo del índice de calidad coincide con algún extremo del intervalo de variación del parámetro, se examina la correlación *índice/parámetro*; pero cuando uno de los valores extremos de índice corresponde a un bloque intermedio (a,b) del rango de variación del parámetro, se analiza la correlación:

índice | *parámetro* - (a+b)/2 | (GANDULLO, 1985).

Por último, para determinar qué parámetros eco-

lógicos son los determinantes de los indicadores selvícolas hemos realizado un análisis de regresión. Las técnicas de regresión describen la función que mejor ajusta los datos de una variable dependiente frente a una variable ambiental (variable independiente) en relación con un modelo concreto; este sería el caso de una regresión simple (ESCUADERO *et al.*, 1994). En TER BRAAK *et al.* (1987) podemos encontrar un estudio exhaustivo de las técnicas de regresión en relación con diferentes modelos estadísticos. MORZUCH *et al.* (1991) abogan por el empleo de los análisis de regresión para analizar la relación de la estructura entre las variables. Sin embargo, por lo general, no es frecuente poder dar una única respuesta totalmente satisfactoria (SNEDECOR *et al.* COCHRAN, 1984), sobre todo si las variables ambientales están fuertemente correlacionadas, y resulta difícil separar su efecto conjunto (POTVIN *et al.* ROFF, 1993). A pesar de ello, durante las últimas décadas, científicos de diferentes disciplinas forestales han venido empleando progresivamente con mayor frecuencia la regresión con el propósito de construir diversas ecuaciones predictivas (GREEN, 1983).

Estudios previos (BLANCO *et al.*, 1989; GANDULLO *et al.*, 1991) apuntan al método ascendente de regresión múltiple paso a paso como el método más indicado a la hora de abordar este tipo de cuestiones en las que intervienen parámetros selvícolas como variables dependientes. El procedimiento paso a paso sigue un proceso de selección de variables progresivo e iterativo introduciendo o eliminando en cada paso una variable hasta que no quede ninguna variable fuera de la ecuación que satisfaga el criterio de selección, ni tampoco permanezca ninguna que cumpla el criterio de eliminación. Esta técnica permite desenmascarar aquellos parámetros ecológicos que en el paso inicial no presentan correlaciones significativas con el índice selvícola, debido a la no retención previa de otras variables. Un buen modelo no debe presentar ni demasiadas variables, ni tampoco olvidar las verdaderamente relevantes, siguiendo los principios de parsimonia. El proceso de selección se ha fijado con un valor de $F=4,000$, y el de eliminación con un valor de $F=3,996$, lo que permite trabajar con coeficientes de seguridad del 99%.

Al final del proceso se obtiene una ecuación de regresión múltiple, también denominada ecuación de predicción o de pronóstico lineal que

presenta la menor probabilidad posible de fallo en su resolución, utilizando esos parámetros.

RESULTADOS

Los coeficientes de correlación entre los parámetros selvícolas aparecen en la Tabla I.

Fijando un nivel de significación del 99,9%, observamos que el área basimétrica (AREA) es el único parámetro que no alcanza valores significativos de correlación con los demás. En cambio, los otros parámetros selvícolas sí presentan distintas correlaciones significativas entre sí. De todos éstos, el índice de Hart (HART) es el que presenta correlaciones más elevadas con el resto de los parámetros selvícolas, salvo, evidentemente, con el área basimétrica. Así pues, hemos elegido como indicadores de la calidad selvícola de los castañares extremeños el índice de Hart junto con el área basimétrica. Por lo tanto, toda la información en cuanto a densidades, estructura del vuelo arbóreo, determinación de existencias y de crecimientos, etc., que es recogida por los siete parámetros selvícolas queda resumida en estos dos indicadores.

A. Área basimétrica

Con el área basimétrica analizamos la estructura del vuelo arbóreo, así como la determinación de las existencias y de los crecimientos. Al emplearlo como indicador de la calidad selvícola de las masas nos proporcionó los siguientes resultados:

1. En el sondeo realizado para comprobar la correlación entre el área basimétrica y cada uno de los parámetros ecológicos, se determinó la forma bajo la cual cada parámetro presentaba el valor extremo del área basimétrica. En la Tabla II se muestran los cambios que se han efectuado, ya que los valores extremos del área basimétrica se corresponden con un valor intermedio del rango de variación de estos parámetros.
2. El proceso de selección de variables efectuado en el análisis de regresión lo podemos observar en la Tabla III.
3. La ecuación de pronóstico final, con los siete parámetros retenidos es la siguiente:

$$\text{Área Basimétrica (m}^2/\text{ha)} = 123,236 - 0,058 x_1 - 7,050 x_2 - 10,304 x_3 - 78,591 x_4 - 1,701 x_5$$

TABLA I
MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS PARAMETROS SELVICOLAS

	DCEP	AREA	HART	ALMV	FCC	TIPO
DPIE	0,8387 ***	0,1613 -	-0,6764 ***	0,4011 *	0,6232 ***	-0,7807 ***
DCEP		0,1794 -	-0,7563 ***	0,5531 **	0,6782 ***	-0,8326 ***
AREA			-0,3449 0	0,4913 **	0,4873 **	-0,1074 -
HART				-0,8058 ***	-0,8385 ***	0,7891 ***
ALMV					0,7374 ***	-0,6707 ***
FCC						-0,7576 ***

«***» representa un nivel de significación del 99,9%, «**» del 99%, «*» del 95% y «0» del 90%.

TABLA II
TRANSFORMACIONES PARA LAS CUALES LOS PARAMETROS
ECOLOGICOS PRESENTAN EL MAXIMO VALOR DEL AREA BASIMETRIA

Parámetro	Forma	Parámetro	Forma
MAX	MAX-31	CCC	CCC-0,25
MIN	MIN-2	PER	PER-3,7
OSC	OSC-30	CRA	CRA-17,5
HEL	HEL-100	MO	MO-3,5
PDS	PDS-2	C/N	C/N-15
TF	TF-50	K	K-100
ARC	ARC-12,5	ETR	ETR-525

TABLA III
PROCESO DE SELECCION, ELIMINACION Y RECUPERACION DE VARIABLES EN LA REGRESION PASO
A PASO, CONSIDERANDO EL AREA BASIMETRICA COMO VARIABLE DEPENDIENTE

Paso	Parámetro retenido		Parámetros significativos que persisten		Parámetros significativos que desaparecen		Parámetros significativos que reaparecen	
1	DRJ	(-)	OSC-30 HEL-100 PDS-2	(-) (-) (-)	resto		ARC-12,5 CIL MO-3,5	(-) (-) (-)
2	PDS-2	(-)	CIL MO-3,5 PHK	(-) (-) (+)	OSC-30 HEL-100 TF-50 ARC-12,5	(-) (-) (-) (-)	VER ISQ	(-) (+)
3	MO-3,5	(-)	CIL	(-)	VER ISQ PHK	(-) (+) (+)	HEL-100 ARC-12,5	(-) (-)
4	CIL	(-)	HEL-100 ARC-12,5	(-) (-)			TF-50	(-)
5	ARC-12,5	(-)	TF-50	(-)	HEL-100	(-)	VER ISQ	(-) (+)

siendo:

$$x_1 = DRJ \quad x_2 = | PDS-2 | \quad x_3 = | MO-3,5 |$$

$$x_4 = CIL \quad x_5 = | ARC-12,5 |$$

La fiabilidad de esta ecuación de pronóstico es francamente elevada, como queda de manifiesto con los siguientes valores:

coeficiente de determinación múltiple: 0,8136
coeficiente de correlación múltiple: 0,9020
error estándar: 10,0721
% de varianza no absorbida: 22,5242

B. Índice de Hart

Con el índice de Hart realizamos una medida tri-

dimensional de la espesura, a la vez que se está efectuando una evaluación de la actividad productora de biomasa del castañar. Análogamente empleamos el índice de Hart como evaluador de la calidad selvícola de los castañaes, obteniendo los siguientes resultados:

1. El sondeo realizado para comprobar las for-

mas bajo las cuales los parámetros ecológicos mostraban los valores extremos del índice de Hart se resume en la Tabla IV.

2. Los pasos desarrollados por el análisis de regresión efectuado en esta segunda ocasión se sintetizan en la Tabla V.

TABLA IV
TRANSFORMACIONES PARA LAS CUALES LOS PARAMETROS
ECOLOGICOS PRESENTAN EL MAXIMO VALOR DEL INDICE DE HART

Parámetro	Forma	Parámetro	Forma
PAN	PAN-1000	ALT	ALT-950
POT	POT-275	PDS	PDS-2
HEL	HEL-120	COM	COM-25
VER	VER+27,5	RES	RES-15
SUP	SUP-650	CIL	CIL-0,15
IH	IH-60	MO	MO-2,5
ISQ	ISQ-0,12	C/N	C/N-15
PDN	PDN-25	DRJ	DRJ-700

TABLA V
PROCESO DE SELECCION, ELIMINACION Y RECUPERACION DE VARIABLES EN LA REGRESION PASO
A PASO, CONSIDERANDO EL INDICE DE HART COMO VARIABLE DEPENDIENTE

Paso	Parámetro retenido		Parámetros significativos que persisten		Parámetros significativos que desaparecen		Parámetros significativos que reaparecen	
1	PDS-2	(+)	SUP-650 (+) ALT-950 (+) RES-15 (+) DRJ-700 (+)		resto		COM-25	(+)
2	ALT-950	(+)	SUP-650 (+) COM-25 (+) RES-15 (+)		DRJ-700	(+)	PIN	(+)
3	COM-25	(+)	PIN	(+)	SUP-650 (+) RES-15 (+)			
4	PIN	(+)					ARC N	(+) (+)
5	ARC	(+)			N	(+)		

3. La ecuación de pronóstico final que se obtiene de este análisis de regresión paso a paso es:

$$\text{Índice de Hart:} = -112,869 + 16,725 y_1 + 0,102 y_2 + 2,301 y_3 + 0,147 y_4 + 2,974 y_5$$

siendo:

$$y_1 = | \text{PDS-2} | \quad y_2 = | \text{ALT-950} | \quad y_3 = | \text{COM-25} | \\ y_4 = \text{PIN} \quad y_5 = \text{ARC}$$

La fiabilidad de esta ecuación de pronóstico queda expresada en los siguientes valores:

coeficiente de determinación múltiple: 0,7431

coeficiente de correlación múltiple: 0,8620

error estándar: 25,4697

% de varianza no absorbida: 31,0414

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El área basimétrica refleja la estructura del vuelo arbóreo en cuanto que los árboles siempre presentan restricciones en el crecimiento lateral por competencia de los vecinos directos (ASSMANN, 1970), de forma que los pequeños claros que puedan existir en el vuelo arbóreo se reparten entre los árboles cercanos. Su vinculación con la determinación de incrementos de volumen está ampliamente aceptada, a pesar de que su formulación pueda ser más o menos compleja (ASSMANN, 1970).

Las siete variables que intervienen en la ecuación de pronóstico del área basimétrica explican el 81,36% de su variabilidad.

En el primer paso de este análisis de regresión se observa que las mayores áreas basimétricas se dan en aquellos biotopos en los que es menor el drenaje calculado del suelo. Esto ocurre en aquellas zonas con menor cantidad de lluvias y régimen hídrico menos mesofítico; razón por la que desaparecen parámetros significativos como PAN, PPR, POT, PIN, TMA, ETP, CAL, VER, SUP, DEF, IH, DSQ e ISQ, que obviamente se encuentran íntimamente ligados a los conceptos anteriores. Sin embargo, también es posible hallar un reducido drenaje calculado en zonas más lluviosas y mesofíticas, pero con suelos poco permeables. De esta manera, el agua que puede drenar hacia profundidades extraedáficas se ve mermada, no como consecuencia de las menores precipitaciones, sino por las características del propio suelo. Las causas por las que esos

suelos son poco permeables se relacionan con la arcillosidad, impermeabilidad debido al limo y/o escasez de materia orgánica, motivo por el que introduce como significativos los parámetros |ARC-12,5|, CIL y |MO-3,5|, siempre con coeficiente parcial de correlación negativo.

Para entender esta relación entre el área basimétrica y el drenaje calculado del suelo es conveniente señalar que el valor medio de este parámetro en estos castañares es $701,31 \pm 54,92$ mm, con un valor mínimo de 179,4 mm y un máximo de 1.291,7 mm (RUBIO, 1993b). Estos valores nos permiten observar que la mayoría de los suelos de los castañares extremeños presentan un drenaje climático capaz de lavar intensamente las arcillas y los nutrientes, según los criterios de ARKLEY (1967). Según este mismo autor, valores de drenaje calculado del suelo superiores a 200 mm indican, al menos en lugares sin pendiente, una clara tendencia, en su madurez, a presentar un profundo horizonte de acumulación. Sin embargo, dado que prácticamente todos los suelos de los castañares estudiados presentan valores claramente superiores a ese umbral, la tendencia al lavado moderado se convierte en un arrastre intenso que empobrecería notablemente los horizontes superiores. Esto podría explicar que sean las zonas con valores de drenaje calculado del suelo más cercanos a los 200 mm (los menores de los castañares estudiados) los que presenten valores más elevados de área basimétrica, implicando valores mucho más elevados posibles empobrecimientos en nutrientes de esos suelos.

En el segundo paso el razonamiento es similar, teniendo en cuenta que es para un valor dado de drenaje calculado del suelo. Así, las mayores áreas basimétricas se dan en terrenos de pedregosidad superficial próxima a 2 (entre el 5% y el 25%), o sea, relativamente escasa. En las parcelas muestreadas esto suele ocurrir donde no es muy elevada la oscilación térmica (|OSC-30|) y donde la fecha de la última helada tiene lugar en las proximidades del 10 de abril (|HEL-100|). Es muy interesante señalar que una escasa pedregosidad parece sugerir una cierta facilidad para la edafogénesis típica de climas de influencia oceánica (DUCHAUFOR, 1975), hecho que se ve matizado por la reintroducción como significativos de los parámetros VER e ISQ, indicadores de características mediterráneas, al retener el parámetro |PDS-2|.

Sin embargo, el hecho de que la pedregosidad superficial no sea totalmente nula quizás podría explicarse por el hecho de que cierta presencia de piedras contribuye a disminuir las pérdidas de humedad del suelo, a reducir en definitiva los valores de evapotranspiración potencial, lo cual es extraordinariamente importante en un momento tan crítico como el período estival del clima mediterráneo.

A igualdad de valores de drenaje calculado del suelo y de pedregosidad superficial, las mayores áreas basimétricas se localizan en sitios con valores del parámetro materia orgánica próximos a 3,5; es decir, en suelos relativamente ricos en materia orgánica, aunque no tanto como los atlánticos. En estas parcelas suele coincidir con menores índices de Vernet (VER) y mayores de intensidad de la sequía (ISQ), puesto que desaparecen en este tercer paso, reforzando el carácter mediterráneo de esos valores de materia orgánica. La acidez de cambio (PHK) también desaparece en este paso. La retención del parámetro |MO-3,5| provoca la reaparición de los anteriormente desaparecidos |HEL-100| y |ARC-12,5|.

De nuevo la relación no es a mayores valores de un parámetro, en esta ocasión materia orgánica, mayores de área basimétrica. Si se presentara esa relación supondría alcanzar valores de materia orgánica tan altos que cabría pensar en alguna circunstancia especial que impidiera la adecuada mineralización de esa materia orgánica.

Los castaños analizados manifiestan una tendencia a reducir sus áreas basimétricas a medida que aumentan las posibilidades de encharcamiento por microporosidad, o sea, por una abundancia de limo que favorezca la presencia de agua capilar y que a su vez disminuya el porcentaje de agua gravitacional posible, que es lo que en definitiva evalúa el coeficiente de impermeabilidad debido al limo (CIL). En el paso siguiente el proceso estadístico hace desaparecer |HEL-100| al retener |ARC-12,5|.

Los indicadores de la fiabilidad de la segunda ecuación de pronóstico demuestran que las cinco variables explican el 74,31% de la variabilidad del índice de Hart.

El índice de Hart es un excelente caracterizador de la densidad de poblaciones jóvenes y geográficamente dispersas (SCHÜTZ, 1990), circunstancias que se dan en los castaños extremeños de

forma generalizada (RUBIO, 1993a). En este índice de densidad el factor de ocupación del espacio sería el correspondiente a una distribución óptima al tresbolillo, al cual se aproximan mucho otros valores correspondientes a disposiciones espaciales menos óptimas (SCHÜTZ, 1987).

El índice de Hart, que es una relación entre la altura de la población y las dimensiones de las copas, o el espaciamiento de los árboles, puede interpretarse como una medida tridimensional de la densidad de las poblaciones, pero también como una medida de la actividad productora de biomasa. Desde esta perspectiva, llama la atención que, al menos en principio, no aparezca relacionado con parámetros edáficos del tipo macronutrientes (K, P, N), materia orgánica, etc., y, en cambio, sí lo haga con parámetros de naturaleza fisiográfica, como son la pedregosidad superficial, la altitud y la complejidad del entorno.

En el primer paso del análisis se puede observar que los menores valores del índice de Hart se dan, fundamentalmente, en los sitios de pedregosidad superficial moderadamente baja (del 5% al 25%). Normalmente esto no suele ocurrir en sitios con fuerte pendiente, mucha precipitación invernal y alta proporción de arcilla, en los que la escorrentía originará mayor erosión de la tierra y, por consiguiente, una pedregosidad superficial más elevada; tampoco suele darse en los sitios totalmente llanos y poco fríos en los que, lógicamente, la pedregosidad superficial será menor. Esta puede ser la razón por la que al retener |PDS-2| desaparecen PIN (+), MIN (-) y ARC (+), y se introduce como significativo |COM-25| (+), o sea, complejidades moderadas. Esta situación de pedregosidad superficial moderadamente baja se da fundamentalmente en suelos fértiles, con alto contenido en P y K, y en zonas cuya fecha de la última helada también es intermedia (el valor medio del parámetro HEL es 120,1). Esto puede explicar la desaparición de los parámetros P (-), K (-) y |HEL-120| (+) al retener el citado |PDS-2|.

La relación que muestran las mayores espesuras de los castaños extremeños con las zonas donde la pedregosidad superficial es baja, pero no necesariamente nula, puede explicarse también en cuanto a la posibilidad de que esa escasa pedregosidad sea capaz de reducir las pérdidas de humedad del suelo. Hay que destacar la elevada corre-

lación que existe entre estos valores de pedregosidad superficial y los de elevados contenidos de P y K, o sea, los de suelos fértiles, en relación con el carácter evaluador de biomasa del índice de Hart.

El segundo paso del análisis de regresión indica que, dada una cierta pedregosidad superficial, los menores valores del índice de Hart se dan en altitudes próximas a los 950 m. Salvo en zonas de altas precipitaciones invernales, en estas altitudes los valores de drenaje calculado serán medios. Por ese motivo al seleccionar | ALT-950 | desaparece | DRJ-700 | y reintroduce PIN.

Los castaños son más densos cuanto a mayor altitud se encuentren, pues el efecto de la altitud está íntimamente correlacionado con el aumento de las precipitaciones, en especial con las más irregulares o tormentosas; sin embargo, este beneficioso efecto puede ser contrarrestado por las temperaturas mínimas invernales que por encima de esos 950 m se hacen excesivamente rigurosas.

Fijada una determinada pedregosidad superficial y una cierta altitud, las mayores espesuras se dan con valores intermedio-bajos de complejidad, lo que implica naturalmente, valores medios del coeficiente de resguardo de vientos, y zonas sin excesivo superávit, esto es, no demasiado eluviadas.

Esta tendencia queda confirmada en el cuarto paso del análisis de regresión al seleccionar PIN, lo que vuelve a resaltar que las elevadas precipitaciones invernales favorecen elevados valores del índice de Hart, a no ser que el suelo sea muy poco arcilloso y pobre.

Las condiciones de complejidades intermedia-bajas, por un lado no favorecen un excesivo drenaje superficial a escala del entorno, pero, por otro lado, el terreno es lo suficientemente ondulado como para no estar totalmente expuesto a la acción de cualquier viento, y como para crear ciertas condiciones de efecto de vaguada, etc.

Los últimos factores interesantes en cuanto al índice de Hart muestran que las mayores espesuras presentan unos valores de lluvias invernales que no originan un excesivo lavado de nutrientes, y de arcilla que eviten cualquier problema de encharcamiento.

En definitiva, las conclusiones que pueden establecerse son:

1.º Las mayores áreas basimétricas de los castaños extremeños se ven favorecidas, fundamentalmente y en orden de importancia decreciente por las siguientes condiciones del biótomo:

- drenaje calculado del suelo relativamente bajo (próximo a 200 mm)
- pedregosidad superficial comprendida entre el 5 y el 25%
- suelos con porcentaje de materia orgánica próximos a 3,5
- bajos coeficientes de impermeabilidad debida al limo
- suelos con porcentaje de arcilla próximos a 12,5

2.º Los menores valores del índice de Hart, esto es, las mayores espesuras, correspondientes, asimismo a los castaños de producción maderera, tienden a darse cuando el biótomo tiene las características siguientes en orden decreciente de importancia:

- situaciones intermedias de complejidad del relieve (próxima a 25)
- altitudes moderadamente elevadas (cercanas a 950 m)
- suelos de pedregosidad moderadamente baja, en concreto entre el 5 y el 25%, y más bien arenosos
- en zonas donde las lluvias invernales no originen un excesivo lavado de nutrientes.

SUMMARY

Fisiographic, climatic and edaphic data of the area occupied by *Castanea sativa* Miller in Extremadura are studied. Also the silvicolous characters of these areas are evaluated. First of all a few representative parameters of the silvicolous structure are selected. Predictive models of this structure are established, based on the ecological parameters selected by regression analysis.

Key words: *Castanea sativa*, Extremadura, ecological parameters, silvicultural parameters, regression analysis.

APENDICE 1

PARAMETROS SELVICOLAS

- Densidad de pies (DPIE): número de pies, de diámetro igual o mayor a 5 cm. a una altura normalizada de 1,30 m. del suelo, presentes por hectárea.
- Densidad de cepas (DCEP): número de cepas existentes por hectárea.
- Área basimétrica total (AREA): suma de las superficies de las secciones de los pies, siempre que sean igual o mayores a 5 cm. a la altura normal. Los datos del área basimétricas se expresan en m²/ha.
- Índice de Hart por número de cepas (HART): coeficiente evaluador de la espesura de las masas en función de la fórmula enunciada por HART (1928).
- Altura máxima de la vegetación (ALMV): expresada en metros.
- Fracción de cabida cubierta (FCC): porcentaje de la superficie de la parcela ocupada por la proyección ortogonal de la copa de los árboles.
- Tipo de producción (TIPO): asignado al tipo de producción «madera» el valor 1 y al tipo «fruto» el valor 2.

APENDICE 2

PARAMETROS CLIMATICOS

Régimen pluviométrico: medidos todos ellos en mm.

- Precipitación anual (PAN): suma de las doce precipitaciones mensuales.
- Precipitación de primavera (PPR): suma de las precipitaciones de marzo, abril y mayo.
- Precipitación de verano (PVE): suma de las precipitaciones de junio, julio y agosto.
- Precipitación de otoño (POT): suma de las precipitaciones de septiembre, octubre y noviembre.
- Precipitación de invierno (PIN): suma de las precipitaciones correspondientes a diciembre, enero y febrero.

Régimen térmico:

- Temperatura media anual (TMA): media aritmética de las doce temperaturas medias mensuales, expresada en grados centígrados.
- Temperatura media de las máximas del mes más cálido (MAX), medida también en grados centígrados.
- Temperatura media de las mínimas del mes más frío (MIN), expresada en las mismas unidades.
- Oscilación térmica (OSC): diferencia en grados centígrados entre las dos últimas temperaturas consideradas.
- Fecha de la última helada (HEL): fecha en la que la temperatura media de las mínimas mensuales fuera menor de 7° C, de acuerdo con el criterio de EMBERGER (1971). El dato corresponde al ordinal de dicha fecha, comenzando a partir del 1 de enero.
- Suma de las evapotranspiraciones potenciales (ETP) de los doce meses, ya que según THORNTHWAITE (1948) es una medida de la eficacia térmica del clima en su conjunto. Se estima en mm.
- Suma de las evapotranspiraciones potenciales de los 6 meses más fríos (FRI).
- Suma de las evapotranspiraciones de los 6 meses más calurosos (CAL).

Régimen hídrico:

- **Índice de Vernet (VER):** índice bioclimático que, según VERNET *et* VERNET (1966) evalúa la mayor o menor continentalidad o mediterraneidad.
- **Suma de superávits (SUP):** resulta de sumar las diferencias entre las precipitaciones y las evapotranspiraciones potenciales, cuando las primeras son mayores que las segundas, y por lo tanto se mide en mm.
- **Suma de déficits (DEF):** se obtiene de sumar las diferencias entre las evapotranspiraciones potenciales y las precipitaciones, cuando las primeras son mayores que las segundas, expresado también en mm.
- **Índice hídrico (IH):** coeficiente adimensional de Thornthwaite al igual que los dos parámetros anteriores (THORNTHWAITTE *et* MATTER, 1955 y 1957), y que evalúa conjuntamente estos tres parámetros.
- **Duración de la sequía (DSQ):** parámetro que como el siguiente se debe a WALTER *et* LIETH (1960) y que es el número de meses en los que la curva de temperaturas, del diagrama ombrotérmico de Gaussen, es superior a la de precipitaciones.
- **Intensidad de la sequía (ISQ):** resulta de dividir el área seca entre el área húmeda de dichos climodiagramas.

PARAMETROS FISIOGRAFICOS

Parámetros de las parcelas:

- **Pendiente (PDN):** tomado directamente en el terreno, al igual que los cuatro parámetros siguientes.
- **Altitud (ALT).**
- **Pedregosidad superficial (PDS):** considerando el identificador 1 para la clase < 5%, 2 para 5 al 25%, 3 para 25 al 50%, 4 para 50 al 75% y 5 para > 75%.
- **Drenaje superficial (DRS):** se asigna el identificador 1 al drenaje superficial defectivo, 2 al normal y 3 al excesivo.
- **Erosión (ERO):** se otorga el identificador 1 a la erosión inapreciable, 2 a la ligera y 3 a la notable.
- **Insolación (INS):** evalúa la cantidad de radiación solar que incide en el terreno (GANDULLO, 1974).

*Parámetros del entorno: (para más información ver BLANCO *et al.*, 1989):*

- **Complejidad del entorno (COM):** evalúa la mayor o menor simplificación del relieve del entorno de la parcela.
- **Coficiente de resguardo de vientos (RES):** se considera el porcentaje de aquellos terrenos que resguardan de forma notable a la parcela, de acuerdo con los fundamentos de la mecánica de fluidos.
- **Sentido del mesoentorno (SME):** se ha cuantificado la influencia de los vientos ábregos del SW.

PARAMETROS EDAFICOS Y EDAFOCLIMATICOS

Características físicas:

- **Tierra fina (TF):** Porcentaje de elementos partículas menores de 2 mm. en el conjunto de la tierra natural.
- **Arena (ARE):** Al igual que los dos parámetros siguientes siguiendo los límites establecidos por SOIL SURVEY STAFF (1975) del USDA.
- **Limo (LIM).**

- Arcilla (ARC)
- Coeficiente de capacidad de cementación (CCC): según la fórmula propuesta por GANDULLO (1985).
- Coeficiente de impermeabilidad debida al limo (CIL): de acuerdo con la expresión de NICOLÁS *et* GANDULLO (1966).
- Humedad equivalente (HE): entendida como la capacidad de un suelo para almacenar el agua, según SÁNCHEZ *et* BLANCO (1985).
- Permeabilidad (PER): valorada en función de las clases que definen conjuntamente los valores del CCC y del CIL a través de un número comprendido entre 1 y 5 (GANDULLO, 1985).

En la elaboración de estos 8 parámetros se han efectuado las medias, ponderadas por espesor de horizonte, en los 125 cm superiores del perfil, sin tener en cuenta la posición relativa de éstos en el conjunto. El siguiente parámetro se ha obtenido por la suma de los valores de cada horizonte del perfil.

- Capacidad de retención de agua (CRA): se cuantifica la previsible en cada horizonte (GANDULLO, 1985).

Características químicas: evaluadas por cálculo de la media de los datos de cada horizonte pero, a diferencia de los anteriores, dando a cada horizonte un peso en función de su espesor y de la profundidad a que está situado, conforme al criterio de RUSSEL *et* MOORE (1986).

- Materia orgánica (MO): porcentaje de carbono orgánico oxidable, según el método de Walkley y Black (WALKLEY, 1946), y multiplicando por el coeficiente de Waksman.
- Acidez actual (PHA): reacción del suelo en suspensión 1:2,5 en agua destilada.
- Acidez de cambio (PHK): reacción del suelo en suspensión 1:2,5 en solución de KCl 1,0 N.
- Nitrógeno (N): porcentaje de nitrógeno total por el método Kjeldahl (BREMNER, 1965).
- Relación carbono/nitrógeno (C/N).
- Fósforo (P): partes por millón de fósforo, siguiendo la metodología propuesta por Burriel-Hernando (BURRIEL *et* HERNANDO, 1950).
- Potasio adsorbido al coloide (K): de acuerdo con lo propuesto por U.S. SALINITY LABORATORY STAFF (1954).

Características edafoclimáticas: valoradas mediante unos parámetros que determinan las variaciones de reserva de agua a lo largo de los distintos meses del año, en función del coeficiente de retención de agua y de los valores mensuales de precipitación y evapotranspiración potencial (THORNTHWAITE *et* MATTER, 1957; GANDULLO, 1985).

- Evapotranspiración real máxima (ETR), en el conjunto del año.
- Sequía fisiológica (SF), en el conjunto del año.
- Drenaje calculado del suelo (DRJ), para evaluar el agua que va verticalmente hacia profundidades extraedafológicas.

BIBLIOGRAFIA

- ARKLEY, R. J., 1967: «Climates of some great soil groups of the western United States». *Soil Sci*, 103 (6): 389-400.
- ASSAMANN, E., 1970: *The principles of forest yield study*. Pergamon Press. Oxford.
- BLANCO, A.; CASTROVIEJO, M.; FRAILE, J. L.; GANDULLO, J. M.; MUÑOZ, L. A., y SÁNCHEZ PALOMARES, O., 1989: *Estudio ecológico del pino canario*. ICONA. Serie Técnica, 6. Madrid.
- BREMNER, J. M., 1965: *Methods of soil analysis*. Part 2. American Society of Agronomy: 1162-1164.

- BURRIEL, F., y HERNANDO, F., 1950: «El fósforo en los suelos españoles. V. Nuevo método para determinar el fósforo asimilable en los suelos». *Anales Edaf. y Fisiol. Veg.*, 9: 611-622.
- DUCHAUFOUR, P., 1975: *Manual de edafología*. Toray-Masson, S. A. Barcelona.
- EMBERGER, L., 1971: «Considérations complémentaires au sujet des recherches bioclimatologiques et phytogéographiques-écologiques». En: *L. Emberger: Travaux de botanique et d'écologie*, 291-301. MASON & CIE (eds.).
- ESCUDERO, A.; GAVILÁN, R., y RUBIO, A., 1994: «Una breve revisión de técnicas multivariantes aplicables en fitosociología». *Bot. Complutensis*, 19 (en prensa).
- GANDULLO, J. M., 1974: «Ensayo de evaluación cuantitativa de la insolación en función de la orientación y de la pendiente del terreno». *An. INIA, Ser. Recursos Naturales*, 1: 95-107.
- GANDULLO, J. M., 1985: *Ecología vegetal*. Fundación Conde del Valle de Salazar. E.T.S.I. Montes, Madrid.
- GANDULLO, J. M.; BAÑARES, A.; BLANCO, A.; CASTROVIEJO, M.; FERNÁNDEZ LÓPEZ, A.; MUÑOZ, L.; SÁNCHEZ PALOMARES, O., y SERRADA, R., 1991: *Estudio ecológico de la laurisilva canaria*. ICONA. Colección Técnica. Madrid.
- GANDULLO, J. M.; SÁNCHEZ PALOMARES, O., y GONZÁLEZ ALONSO, S., 1983: *Estudio Ecológico de las tierras altas de Asturias y Cantabria*. Monografías del INIA, n.º 49. Madrid.
- GREEN, E. J., 1983: Evaluating the Predictive Abilities of Regressions with PRESS. *Forest Sci.*, 29 (4): 712-714.
- HART, H.M.F., 1928: *Stamtaal en dunning; een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijzde en dunningswijze voor den djati*. Veenman & Zonen. Wageningen.
- ICONA, 1976: *Inventario Forestal Nacional. Región Extremadura*. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- MORZUCH, B. J., & RUARK, G. A., 1991: «Principal Components Regression to Mitigate the Effects of Multicollinearity». *Forest Sci.*, 37(1): 191-199.
- NICOLAS, A., y GANDULLO, J. M., 1966: *Los estudios ecológicos selvícolas y los trabajos de repoblación forestal*. I.F.I.E. Madrid.
- POTVIN, C., & ROFF, D. A., 1993: «Distribution-free and robust statistical methods: viable alternatives to parametric statistics?» *Ecology*, 74(6): 1617-1628.
- RUBIO SÁNCHEZ, A., 1993a: *Estudio ecológico de los castañares de Extremadura*. Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes, Univ. Politécnica de Madrid (inérito).
- RUBIO SÁNCHEZ, A., 1993b: «Caracterización del hábitat edáfico de los castañares extremeños». *Actas del Congreso Forestal Español*, I: 423-428. Lourizán.
- RUBIO SÁNCHEZ, A., y GANDULLO, J. M., 1993: «Comparación edáfica de los castañares fruteros y madereros extremeños». *Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*, III: 1769-1767. Salamanca.
- RUSSEL, J. S., & MOORE, A. W., 1968: «Comparison of different depth weighings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data». *Proc. 9th. Int. Cong. Soil. Sci.*, 4: 205-213.
- SÁNCHEZ PALOMARES, O., y BLANCO ANDRAY, A., 1985: «Un modelo de estimación del equivalente de humedad de los suelos». *Montes*, 4: 26-30.
- SCHÜTZ, J.-PH., 1987: «Zur Auswahl der Auslesebaume in der schweizerischen Auslesedurchforschung». *Schweiz. Z. Forstwes.*, 138(12): 1037-1053.
- SCHÜTZ, J.-PH., 1990: *Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- SNEDECOR, G. W., y COCHRAN, W. G., 1984: *Métodos estadísticos*. CECSA. México DF.
- SOIL SURVEY STAFF, 1975: *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook n.º 436*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Washington, DC.
- TER BRAAK, C.J.F., & LOOMAN, C.W.N., 1987: «Regression». En: *Data analysis in community and landscape ecology*. 29-77. JONGMAN, R.H.G., Ter BRAAK, C.J.F. y VAN TONGEREN, O.F.R. (eds.). Pudoc, Wageningen.

- THORNTHWAITE, C. W., 1948: «An approach toward a rational classification of climate». *Geogr. Rev.*, 38: 55-94.
- THORNTHWAITE, C. W., & MATTER, J. R., 1955: «The water balance». *Clymatology*, 8: 1-104.
- THORNTHWAITE, C. W., & MATTER, J. R., 1957: «Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances». *Publ. in Climatol.*, 10(3): 185-311.
- U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, 1954: *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture. Washintong, DC.
- VERNET, J. L., & VERNET, P. H., 1966: «Sur un indice bioclimatique applicable aux climats de la France». *Naturalia Monspel., sér. Botanique*, 14: 253-262. Montpellier.
- WALKLEY, A., 1946: «A critical examination of a rapid method of determining organic carbon in soil-effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents». *Soil Sci.*, 63: 251-263.
- WALTER, H., y LIETH, H., 1960: *Klimadiagramm Wetatlas*. Veb. Gustav Fischer. Jena.