

AUTOECOLOGIA DE LOS CASTAÑARES CATALANES

A. RUBIO¹
R. ELENA¹
O. SANCHEZ²
A. BLANCO¹
F. SANCHEZ¹
V. GOMEZ¹

¹ Dpto. Silvopascicultura. UPM. E-28040 Madrid. España

² INIA-CIFOR. Apdo. 8111. 28040 Madrid. España

RESUMEN

Se han establecido los valores paramétricos óptimos y marginales que definen los hábitats fisiográfico, climático y edáfico de las masas de *Castanea sativa* Miller en Cataluña. Así, se ha podido comprobar que la mayoría de los castañares catalanes se hallan sobre suelos formados a partir de rocas ígneas, y en ellos predominan las texturas franco-arenosas. Los suelos, según FAO, son mayoritariamente cambisoles. Aunque la capacidad de retención de agua de estos suelos es escasa, la sequía fisiológica está muy reducida. Los humus fundamentalmente pertenecen al tipo mull forestal, a pesar la elevada acidez. Además, se han elaborado una serie de parámetros selvícolas que al correlacionarlos con los ecológicos nos ha permitido comprobar que los mejores castañares se encuentran entorno a los 750 m de altitud, con precipitaciones de primavera cercanas a 240 mm, temperaturas medias anuales sobre 11,5° C y temperaturas medias del mes más cálido próximas a 20° C.

PALABRAS CLAVE: *Castanea sativa*
Hábitat óptimo
Hábitat marginal
Biotopos
Autoecología
Selvicultura
Cataluña

INTRODUCCION

El castaño (*Castanea sativa* Miller) como especie dominante, según los datos aportados por el Anuario de Estadística Agraria de 1997 (MAPA, 1997), ocupa una superficie forestal en España de 94.968 ha, si bien en numerosas ocasiones la distribución de la especie corresponde a presencias muy dispersas y, en consecuencia, de difícil evaluación superficial. Para la Comunidad Autónoma de Cataluña el citado anuario de estadística cuantifi-

Recibido: 31-3-99

Aceptado para su publicación: 7-6-99

ca la superficie forestal ocupada por castaños en 10.570 ha. Los forestales catalanes estiman que más del 80 % de la superficie de los castaños de Cataluña se encuentra en la comarca de La Selva, y de hecho, según dicho anuario, las cortas de castaño con corteza se cifraron en 16.803 m³ para Girona, frente a los 4.696 m³ que se extrajeron en Barcelona y los nulos valores en Tarragona y Lleida.

El tratamiento aplicado en la mayoría de estos castaños catalanes es de monte bajo regular, con turnos de corta entorno a los 20 años, obteniendo en la corta a hecho las "perxes" o pies de diámetro normal inferior a 20 cm que son los empleados principalmente para parquet y construcción de muebles. En Cataluña esta especie forestal aún presenta un gran interés para la mayoría de los propietarios forestales, aunque su importancia está en clara regresión debido a factores coyunturales del mercado y a los estragos originados por dos potentes agentes patógenos, *Phytophthora sp.* y *Endothia sp.*, que causan la tinta y el chancro respectivamente. Así, desde el Primer Inventario Nacional se ha producido una reducción de la superficie forestal ocupada por el castaño del orden de las 2.000 ha.

No obstante, en la actual política forestal parecen darse una serie de circunstancias que incitan a mirar con una perspectiva renovada los valores de *Castanea sativa* como especie forestal. Así lo atestigua el hecho de estar incluida en el Real Decreto 378/1993 dentro del Anexo 2 como especie cuya plantación tendrá como finalidad doble la restauración y la creación de ecosistemas forestales permanentes; para ello recibe un trato bastante favorecedor en cuanto a las ayudas máximas que se pueden recibir por gastos de forestación, primas de mantenimiento y primas compensatorias. Cabe añadir que la Unión Europea promulgó la Directiva 92/43/CEE en la que se establece el procedimiento para la creación de la Red Natura 2000, siendo los bosques antiguos de *Castanea sativa* uno de los elementos para localizar puntos concretos en dicha Red.

Sin embargo, cuando se intenta argumentar técnicamente la viabilidad de las especies forestales en las tierras agrarias marginales, el forestal no siempre cuenta con información concreta, con datos cuantificados sobre las características del medio en el que puede vivir el castaño. Es decir, los requerimientos ecológicos de *Castanea sativa* todavía son poco conocidos, no solo a nivel regional, sino en el conjunto de la Península. Las exigencias climáticas del castaño en la península Ibérica han sido vagamente acotadas (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1971; Malato-Beliz, 1987) y la caracterización edáfica es aún más imprecisa. Se sabe que el castaño prefiere los sustratos silíceos, aunque tolera los calizos cuando el clima facilita el lavado de las bases, así como que rehuye los terrenos compactos y excesivamente húmedos (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1971; Berrocal *et al.*, 1997). No obstante, a nivel regional van apareciendo estudios que profundizan en los requerimientos ecológicos de la especie, tipificando los valores de los principales indicadores edáficos, climáticos y fisiográficos, y relacionándolos con la calidad de sus masas (Blanco, 1985; Rubio, 1993a, 1993b; Rubio *et al.*, 1997). En ese sentido está orientado el presente trabajo, que se enmarca, a su vez, en un proyecto más amplio cuyo objetivo es conocer la autecología del castaño en España desde un punto de vista paramétrico.

MATERIAL Y METODOS

Area de estudio

El territorio ocupado por *Castanea sativa* Miller en la Comunidad Autónoma de Cataluña se sitúa en las provincias de Barcelona y Girona y se encuadra entre los 41°39' y

42°27' de latitud N y los 2°23' y 2°56' de longitud E. Las masas más extensas se encuentran en la Comarca de La Selva (Girona), así como en la vecina Comarca de Osona (Girona-Barcelona). Otras masas menos extensas se encuentran en El Vallès Oriental y El Maresme (dentro de la provincia de Barcelona), y en El Gironès y la parte central de La Garrotxa (Girona). Las masas que se localizan a lo largo de la cordillera Pirenaica se sitúan en el extremo oriental de El Ripollès y las zonas altas de La Garrotxa y Alt Empordà.

Las temperaturas medias anuales en el área de estudio oscilan en torno a los 12,7° C, existiendo zonas en las que las temperaturas medias del mes más frío llegan a 3,5° C y otras en las que las temperaturas medias del mes más cálido alcanzan los 23,8° C. De acuerdo con Gandullo et al. (1998) el régimen térmico de la zona de estudio es fundamentalmente templado-frío de inviernos frescos, aunque también abunda el templado-frío de inviernos tibios e incluso hay algunos puntos clasificables como templado-cálidos de inviernos tibios. Pluviométricamente suelen sobrepasar los 659 mm pero no los 1.150 mm anuales. La distribución estacional de las lluvias es bastante regular, presentando el mínimo precisamente en la estación más fría y el máximo en la otoñal. El régimen hídrico según Gandullo et al. (1998) oscila de subxérico a oligoxérico. Según los espacios termoclimáticos propuestos por Rivas-Martínez (1987), los castañares se encuentran fundamentalmente en el piso mesomediterráneo de la región Mediterránea, aunque son frecuentes en el piso supramediterráneo de dicha región, e incluso aparecen también en el piso montano de la Región Eurosiberiana. Los ombrotipos que aparecen son el subhúmedo y el húmedo, en ambas regiones corológicas. De acuerdo con la propuesta fitoclimática de Allué (1990) los castañares catalanes pertenecen fundamentalmente al ámbito fitoclimático VI (VII) de los bosques nemorales en transición hacia los nemoroesteparios de planicaducifolia obligada marcescente. Sin embargo, bastantes zonas se encuentran dentro de otros ámbitos vecinos tales como el VI de los bosques nemorales típicos, o bien en otros transicionales como los VI(V), VI(IV), e incluso el de los medios mediterráneos arbóreos transicionales hacia la planicaducifolia, denominado IV(VI)₂.

Biogeográficamente, y de acuerdo con Rivas-Martínez (1987), el territorio castañero catalán se asienta fundamentalmente en la Región Mediterránea, dentro de la provincia Catalano-Valenciano-Provenzal en el sector Vallesano-Empordanés, si bien muchas de las masas se aproximan hacia los retazos más orientales del límite de la Región Eurosiberiana en la península Ibérica (provincia Pirenaica, sector Pirenaico oriental, subsector Montsignático-Ripollès).

Los castañares catalanes se encuentran sobre sustratos litológicos silíceos, predominando las rocas ígneas ácidas (granitoides), tanto en los macizos axiales pirenaicos del Alt Empordà, como en las cordilleras costeras (macizos de El Montnegre y El Montseny). También aparecen sobre rocas metamórficas, igualmente de quimismo ácido (esquistos, micacitas y gneises) y de edad cámbrica y ordovícica en las comarcas de La Selva y El Gironés. En la zona más occidental del Alt Empordà se localizan algunas pequeñas masas sobre materiales detríticos paleógenos del Prepirineo. Por último, hay que destacar la singular presencia de algunos castañares sobre materiales volcánicos, en la comarca de La Garrotxa.

Métodos

Para la planificación del muestreo de los castañares se ha contado con el Mapa Forestal de Ceballos (1966) cuyas áreas fueron superpuestas sobre la clasificación biogeoclimática peninsular y balear (Elena, 1996) que, en base a datos fisiográficos, climáticos y litológi-

cos, divide el territorio nacional en siete Ecorregiones y cada una en una serie de menores clases territoriales. El territorio catalán se encuentra dentro de la 3ª ecorregión (Catalano-Aragonesa), la cual se divide en 41 clases territoriales. Los castañares catalanes los hallamos en 13 clases territoriales que, según el dendrograma clasificador, quedan agrupadas en el 5º nivel de división en cinco grandes estratos cuya caracterización viene definida en el citado trabajo de Elena (1996). En la Figura 1 aparece el reparto geográfico de las masas de los castañares de Ceballos en estos estratos. A fin de mantener una densidad de puntos de muestreo similar a la de otros estudios regionales anteriores y que a la vez fuera suficientemente elevado para posteriores análisis estadísticos, se fijó un número total de 28 parcelas, proporcionalmente distribuidas teniendo en cuenta la extensión de la superficie de las masas de castaño en cada estrato.

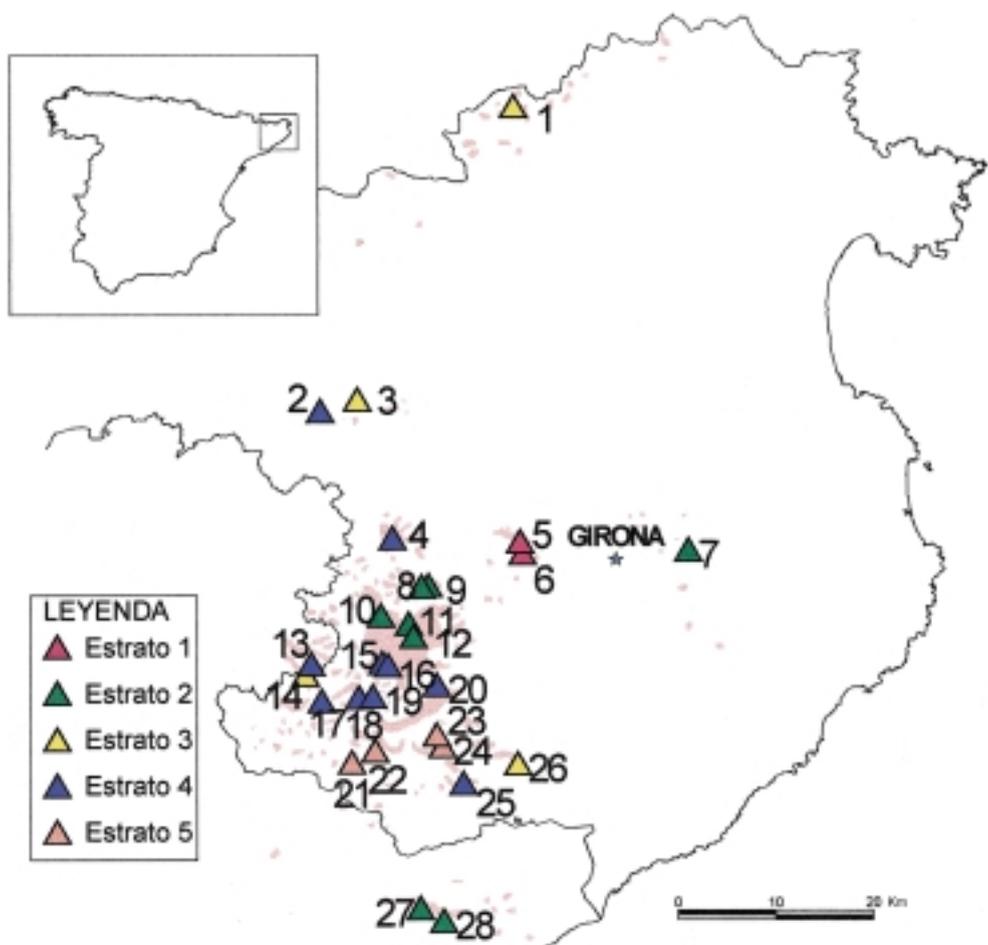


Fig. 1.—Mapa de situación de los castañares en Cataluña y de los puntos de muestreo, según los estratos
Distribution map of chestnut forests in Catalonia and sample plots according to strata

En cada punto de muestreo se fijó una parcela circular de 8 m de radio y en ella se recogieron datos de las características bióticas y abióticas del medio. Las características bióticas de las masas quedaron recogidas mediante una serie de datos dasométricos con los que se elaboraron los siguientes parámetros selvícolas: densidad de pies por hectárea (DENP), densidad de cepas por hectárea (DENC), área basimétrica por hectárea (ABAS), índice de Hart (Hart, 1928) por número de cepas (HARTC), altura total dominante (ALTD), fracción de cabida cubierta del castañar (FCCP), fracción de cabida cubierta de todo el arbolado (FCCT) y regeneración por brinzales (estimada como nula: 1, escasa: 2 y abundante: 3) (REG)

Las características abióticas se tomaron en la parcela con datos relativos a la fisiografía y al suelo. Con ellos y con los datos procedentes de las estaciones meteorológicas más cercanas (convenientemente corregidos, según Sánchez Palomares et al., 1999) se han elaborado un total de 34 parámetros ecológicos relacionados con la estructura fisiográfica, climática y edáfica del biotopo.

Fisiografía. Los parámetros con los que hemos caracterizado fisiográficamente los castañares catalanes han sido: altitud (ALT); pendiente (PND) medida con un clinómetro; e insolación (INS), con la que se evalúa la cantidad de radiación solar que incide en el terreno en función de su pendiente y orientación (Gandullo, 1974).

Clima. El régimen pluviométrico se evaluó mediante la precipitación anual (PA), la de primavera (PP), de verano (PV), de otoño (PO) y la de invierno (PI). El régimen térmico con la temperatura media anual (TMA), temperatura media del mes más cálido (MAX), temperatura media del mes más frío (MIN), oscilación térmica (OSC) (como diferencia entre MAX y MIN), y la suma de las 12 evapotranspiraciones potenciales (ETP) (Thorntwaite, 1948). El régimen hídrico se analizó mediante la suma de superávits (SUP) y suma de déficits (DEF), el índice hídrico (IH) (Thorntwaite Y Mather, 1955, 1957), la duración de la sequía (DSQ) y la intensidad de la sequía (ISQ) (Walter Y Lieth, 1960).

Suelos. En cada parcela de muestreo se procedió al estudio de un perfil del suelo, identificando los distintos horizontes edáficos, caracterizando su color y tomando una muestra representativa de cada uno de ellos. En el laboratorio se efectuaron los análisis físicos y químicos necesarios de cada horizonte para la clasificación de los suelos (FAO, 1989) y para la elaboración de los parámetros edáficos definidores del hábitat edáfico, análogamente a lo realizado en trabajos similares (Gandullo et al., 1991; Rubio y Gandullo, 1994).

Como parámetros edáficos físicos definidos para el conjunto de cada perfil se han considerado: tierra fina en tierra natural (TF), arena (ARE), limo (LIM) y arcilla en tierra fina (ARC) (de acuerdo con los límites establecidos por el Soil Survey Staff del USDA, 1975), además de la clase de permeabilidad (en una escala de 1 a 5, según Gandullo, 1994) (PER) y la humedad equivalente (HE) (Sánchez y Blanco, 1985). El valor de cada parámetro se ha obtenido calculando la media ponderada con el espesor de los respectivos horizontes, en los 125 cm superiores del perfil. La capacidad de retención de agua (CRA) (Gandullo, 1994), se ha obtenido por suma de los valores parciales de CRA de cada horizonte del perfil.

Como parámetros edáficos químicos: materia orgánica (MO) (Walkley, 1946), acidez actual (valor del pH en H₂O, en proporción 1:2,5) (PHA) y acidez de cambio (valor del pH en KCl, en proporción 1:2,5) (PHK). Los valores medios en cada perfil se han obtenido ponderando con el espesor de cada horizonte y aplicando el criterio de Russel y Moore (1968) de los pesos decrecientes con la profundidad. Además, y sólo con los

datos de los 25 cm superiores, se han calculado los parámetros: materia orgánica superficial (MOS), nitrógeno superficial (NS) (Bremner, 1965) y relación carbono/nitrógeno superficial (CNS).

El funcionamiento hídrico del perfil a lo largo de los meses del año en función de las características del clima y del suelo se evaluó mediante los siguientes parámetros edafoclimáticos (Thornthwaite Y Mather 1957): la evapotranspiración real máxima posible (ETRM), la sequía fisiológica (SF) y el drenaje calculado del suelo (DRJ), para evaluar el agua que escurre superficialmente o que drena verticalmente hacia profundidades extraedafológicas.

Con los valores de los 34 parámetros abióticos recogidos en las 28 parcelas, se han elaborado unos esquemas en los que, para cada parámetro, se señalan los valores mínimo (límite inferior, LI) y máximo (límite superior, LS) absolutos, así como el valor medio (M) del mismo. También aparecen los límites que definen el intervalo formado por el 80 p. 100 de las parcelas estudiadas (umbral inferior, UI y umbral superior, US) y que excluyen el 10 p. 100 de aquellas en las que el parámetro toma los valores mayores aparecidos y el otro 10 p. 100 en las que alcanza los valores mínimos (Gandullo, 1972; Gandullo *et al.*, 1974, 1983, 1991). El área definida por el 80 p. 100 de los casos constituye el denominado *hábitat central u óptimo* de los castañares estudiados (US-UI). Las áreas que circunscriben los límites de dicho hábitat óptimo y los extremos absolutos, se definen como *hábitats marginales* de dichos castañares (LI-UI y US-LS).

Con los parámetros selvícolas se ha realizado un primer análisis lineal bivariable de correlación para seleccionar los que pueden ser considerados más adecuados como índices selvícolas, para su posterior contraste con los parámetros fisiográficos, climáticos y edáficos definidores del hábitat, intentando obtener una relación lineal entre éstos. Para dilucidar las relaciones que existen entre el índice selvícola seleccionado y la totalidad de los parámetros ecológicos evaluadores del biotopo se efectuó un análisis de los histogramas con el que detectar el rango de variación (a,b) del parámetro ecológico en el que tienden a darse los mejores valores del índice de calidad selvícola (Gandullo *et al.*, 1991; Rubio y Gandullo, 1994). De este modo, cuando los mejores valores del índice de calidad coinciden con algún extremo del intervalo de variación del parámetro, se examina la correlación *índice/parámetro*, pero cuando uno de los valores extremos del índice se corresponde con un intervalo intermedio (a,b) del parámetro ecológico, se analiza la correlación *índice / |parámetro- k |*, siendo $k = (a+b)/2$.

Sin embargo, el análisis bivariable planteado adolece de dos defectos importantes: la redundancia de información como consecuencia de las correlaciones existentes entre muchos de los parámetros abióticos y el posible ocultamiento de la influencia de algunos parámetros, bien porque el rango de variación del parámetro sea demasiado estricto y no presente valores en los que dicha influencia se pueda manifestar, bien porque exista un fenómeno de compensación entre parámetros, consecuencia antagónica de diversos factores ecológicos, bien porque la influencia no sea muy marcada y, por tanto, no detectable con el grado de aproximación de datos y parámetros con los que trabajamos, o bien porque los indicadores selvícolas que utilizamos están más o menos distorsionados por la propia actuación antrópica. Así pues, para determinar qué parámetros ecológicos pueden ser considerados predictores del estado selvícola se ha realizado un análisis multivariable de regresión paso a paso. Las técnicas de regresión describen la función que mejor ajusta los datos de una variable dependiente (indicador selvícola) frente a una serie de variables regresoras (variables ambientales), si bien por lo general no se puede obtener una única respuesta totalmente satisfactoria (Snedecor y Cochran, 1984), especialmente si las variables ambien-

tales están fuertemente correlacionadas y resulta difícil separar su efecto conjunto (Potvin y Roff, 1993). Estudios previos (Blanco et al., 1989; Gandullo et al., 1991; Rubio, Gandullo, 1994) apuntan al método ascendente de regresión múltiple paso a paso como el método más indicado para abordar este tipo de cuestiones en las que intervienen parámetros selvícolas como variable dependiente. 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 de fallo en su resolución utilizando las variables regresoras incluidas en el modelo.

Todos los análisis estadísticos han sido realizados con el programa STATGRAPHICS plus versión 2.1.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis exploratorio

Los parámetros selvícolas presentan unos coeficientes de variación no muy elevados y bastante similares, mostrando unas desviaciones con respecto a las distribuciones normales de escasa cuantía (Tabla 1). En el conjunto de parámetros abióticos (Tabla 2) destacan por su escasa variabilidad los parámetros climáticos PO, PI, MAX, OSC y ETP, los edáficos PHA, PHK y el edafoclimático ETRM. En cambio, los parámetros climáticos DSQ e ISQ presentan unos elevados coeficientes de variación pero, desde un punto de vista ecológico, dichas variaciones carecen de importancia al ser sus rangos de variación tan pequeños. Asimismo, son estos parámetros los que presentan mayores desviaciones en las distribuciones con fuertes tendencias leptocúrticas y notoria asimetría con respecto a la normal, en este caso desplazadas hacia la derecha, es decir hacia sus valores más elevados. Las distribuciones de los demás datos muestran sólo suaves tendencias leptocúrticas y ligeras desviaciones con respecto a la normal.

TABLA 1

MEDIAS, DESVIACIONES ESTANDAR (D.E), MINIMO, MAXIMO, SESGO, KURTOSIS Y COEFICIENTE DE VARIACION (C.V.) DE LOS PARAMETROS SELVICOLAS DE LOS CASTAÑARES (n = 28)

Mean, standard deviation (D.E.), minimum, maximum, skewness, kurtosis and coefficient of variation (C.V.) of chestnut stand silvicultural parameters (n = 28)

Parámetro	Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis	C. V.
DENP (n°·ha ⁻¹)	1921	613,796	1050	3600	0,803	0,532	31,95
DENC (n°·ha ⁻¹)	1532	500,410	650	2500	0,157	-0,631	32,66
ABAS (m ² ·ha ⁻¹)	27,43	11,646	11,19	52,22	0,228	-0,899	42,46
HARTC	21,00	6,283	12,97	36,86	0,833	-0,096	29,92
ALTD (m)	14,45	3,324	8,50	23,00	0,514	0,334	23,00
FCCP (%)	83	10,905	60	100	-0,150	-0,712	13,14
FCCT (%)	86	12,536	60	100	-0,471	-1,044	14,58
REG	2,07	0,940	1	3	-0,150	-1,933	45,41

TABLA 2

MEDIAS, DESVIACIONES ESTANDAR (D.E.), MINIMO, MAXIMO, SESGO, KURTOSIS Y COEFICIENTE DE VARIACION (C.V.) DE LOS PARAMETROS ECOLOGICOS DE LOS CASTAÑARES (n = 28).

LAS VARIABLES SIN UNIDADES SON ADIMENSIONALES

Mean, standard deviation (D.E.), minimum, maximum, skewness, kurtosis and coefficient of variation (C.V.) of chestnut stand ecological parameters (n = 28).

Variables without units are adimensional

Parámetro	Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis	C. V.
ALT (m)	582	223,562	100	910	-0,107	-0,864	38,41
PND (%)	48	17,247	3	85	-0,315	0,899	35,93
INS	0,66	0,259	0,19	1,25	0,610	-0,093	39,24
PA (mm)	849,6	94,303	659	1150	0,864	2,708	11,10
PP (mm)	228,9	24,676	175	295	0,260	0,781	10,78
PV (mm)	195,7	47,486	115	364	1,606	4,988	24,26
PO (mm)	250,2	16,319	222	299	0,788	1,522	6,52
PI (mm)	174,7	13,627	147	194,0	-0,226	-1,035	7,80
TMA (° C)	12,7	1,376	10,4	15,4	-0,058	-1,003	10,79
MAX (° C)	21,1	1,492	18,3	23,8	-0,234	-0,934	7,07
MIN (° C)	5,4	1,143	3,5	7,7	0,062	-0,953	21,16
OSC (° C)	15,6	0,595	13,6	16,4	-1,567	3,901	3,81
ETP (mm)	716,2	45,095	643,4	810,8	0,090	-0,838	6,29
SUP (mm)	295,7	72,360	176,6	506,8	0,814	1,103	24,47
DEF (mm)	162,4	67,133	8,5	328,5	0,185	0,569	41,34
IH	28,7	17,272	-2,5	77,0	0,646	0,731	60,18
DSQ (n° meses)	0,25	0,458	0	1,93	2,428	6,357	183,20
ISQ	0,01	0,014	0	0,07	3,660	15,410	140,00
TF (%)	52,09	13,863	22,86	78,53	-0,095	-0,444	26,61
ARE (%)	60,43	16,431	23,91	89,91	-0,657	0,281	27,19
LIM (%)	27,99	13,515	6,60	56,05	0,794	0,147	48,29
ARC (%)	11,58	4,203	3,49	20,04	0,242	-0,226	36,30
PER	4,016	0,804	1,96	5,00	-1,093	0,806	20,02
HE (%)	17,92	5,009	8,68	28,92	0,522	0,255	27,95
CRA (mm)	78,58	45,840	19,71	198,17	1,260	1,340	58,34
MO (%)	1,67	0,701	0,59	3,62	1,024	0,913	41,98
PHA	4,84	0,486	4,13	6,03	0,937	0,520	10,04
PHK	3,77	0,568	2,96	5,45	1,647	2,998	15,07
MOS (%)	2,80	1,176	1,02	5,83	0,979	0,683	42,00
NS (%)	0,14	0,058	0,05	0,28	0,916	0,601	41,43
CNS	12,39	3,357	8,45	21,90	1,441	1,755	27,09
ETRM (mm)	610,23	32,532	542,85	682,13	0,226	-0,067	5,33
SF (mm)	105,95	66,555	0,23	267,98	0,503	-0,362	62,82
DRJ (mm)	239,34	78,388	116,15	498,55	1,301	3,078	32,75

En la Tabla 3 podemos comprobar que, desde el punto de vista de los materiales parentales, el 61 % de las parcelas están sobre rocas ígneas. Las plutonitas que aparecen son, sobre todo, granodioritas, en menor proporción aparecen granitos y sólo hay una parcela sobre vulcanita basáltica, en las cercanías de Olot. De las 17 parcelas sobre rocas ígneas, 15 de ellas tienen una textura media franco-arenosa y dos arenoso-franca. Además, encontramos 10 parcelas (35 %) sobre esquistos más o menos cuarcíferos. En éstas, la granulometría es algo más

variada: en cuatro de ellas franco-arenosa, en tres franca y en otras tres franco-limosa. La única parcela asentada sobre rocas sedimentarias, areniscas, tiene una textura media franco-arenosa. No hemos muestreado en el territorio ninguna parcela sobre calizas, de forma que todos los suelos son, netamente, silíceos. De los tipos de suelos que hemos encontrado bajo los castañares (Fig. 2), el 75 % son cambisoles; de ellos, la mayor parte (17 parcelas) son cambisoles dísticos y sólo cuatro son cambisoles húmicos. Es destacable que todas las parcelas cuyo material parental son rocas de tipo metamórfico han desarrollado cambisoles. Además existen tres alisoles, tres arenosoles y un andosol. Todos los alisoles y los arenosoles están edificados sobre plutonitas. La escasa presencia de suelos con horizonte árgico, se debe fundamentalmente a que, en general, los castañares se encuentran en zonas de pendiente fuerte. Por otra parte, en las zonas más lluviosas el verano suele ser la estación con más precipitación, lo que también tiende a dificultar la aparición de horizontes Bt.

TABLA 3
CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS PARCELAS ESTUDIADAS:
ESTRATO TERRITORIAL, LOCALIDAD, PERFIL DEL SUELO,
TIPO DE SUELO, ROCA MADRE Y TEXTURA

Sample plot description: Land stratum, location, soil profile, soil type, soil rock parent material and soil texture

Parc.	Estrato	Localidad	Tipo de perfil	Tipo de suelo	Litofacies	Textura
1	3	Maçanet de Cabrenys	A; Bt; Bu/C; C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
2	4	les Preses	A; Bw; C	Cambisol húmico	Areniscas	IX
3	3	Sta. Pau	A; Bw1; Bw2	Andosol háplico	Vulcanitas	IX
4	4	Susqueda	Ae; Bw; 2C	Cambisol húmico	Metamorfitas	VIII
5	1	Sant Gregori	A; Bw; C; R	Cambisol dístico	Metamorfitas	VII
6	1	Sant Gregori	A; Bw1; Bw2; R	Cambisol dístico	Metamorfitas	VIII
7	2	Sant Martí Vell	Ae; Bw1; Bw2	Cambisol dístico	Metamorfitas	VII
8	2	la Sella del Ter	A; Bw; Bw/C; R	Cambisol dístico	Metamorfitas	IX
9	2	la Sella del Ter	Ae; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Metamorfitas	IX
10	2	Osor	A; Bs; Bs/C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
11	2	Osor	A; Bw; 2Bw; 2C	Cambisol dístico	Metamorfitas	IX
12	2	Osor	A; A/Bs; Bs	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
13	4	Vilanova de Sau	A; E; Bt/C	Alisol húmico	Plutonitas	IX
14	3	Vilanova de Sau	A; Bw; C/R	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
15	4	Sant Hilari Sacalm	A; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
16	4	Sant Hilari Sacalm	A; Bt; Bs/C	Alisol húmico	Plutonitas	IX
17	4	Sant Hilari Sacalm	A; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
18	4	Sant Hilari Sacalm	A; E; Bts/C	Alisol húmico	Plutonitas	IX
19	4	Sant Hilari Sacalm	A; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
20	4	Sta Coloma de Farners	Ae; Bw; C	Arenosol cámbico	Plutonitas	IX
21	5	Arbúcies	A; Bw; C	Arenosol cámbico	Plutonitas	XI
22	5	Sant Hilari Sacalm	A; Bw; C	Arenosol cámbico	Plutonitas	XI
23	5	Sta. Coloma de Farners	A; Bw; Bw/C	Cambisol húmico	Plutonitas	IX
24	5	San Feliu de Buixalleu	Ae; Bw; Bw/C	Cambisol húmico	Plutonitas	IX
25	4	San Feliu de Buixalleu	A; A/Bw; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Metamorfitas	IX
26	3	Riudarenes	Ae; Bw; C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX
27	2	Sant Celoni	Au1; Au2; Bs/C	Cambisol dístico	Metamorfitas	VII
28	2	Sant Iscle de Vallata	Ae; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Metamorfitas	VIII

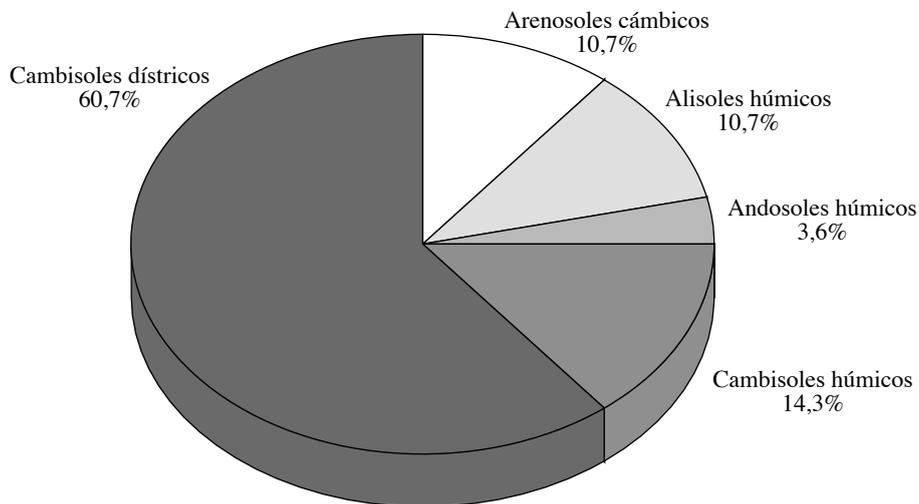


Fig. 2.—Reparto los tipos de suelos (FAO, 1989) en los castañares catalanes
FAO (1989) soil type distribution diagram in Catalanian chestnut stands

Hàbitats òptims y marginales

El hàbitat central de las Figuras 3 y 4 define el àrea potencial del castaño en Cataluña, ya que en las regiones marginales la presencia del castañar puede deberse a una serie de compensaciones diversas entre los factores ecológicos, o incluso a parámetros no considerados en este trabajo. En la Figura 3 se muestra el diagrama representativo del hàbitat fisiogràfico y climàtico de los castañares catalanes y en la Figura 4 el del hàbitat edàfico y edafoclimàtico. Lo primero que cabe destacar es la alta pedregosidad que, unida a las fuertes pendientes, origina suelos con escasa capacidad de retención de agua. Conviene destacar que la CRA de los suelos de los castañares catalanes es la más baja de los castañares estudiados previamente, sin embargo, la regular y constante distribución de lluvias hace que la sequía meteorológica, definida por DSQ e ISQ, sea nula o muy escasa y, en consecuencia, la SF está, en general, muy reducida, y la ETRM, que en cierto modo representa la capacidad productiva, es bastante elevada.

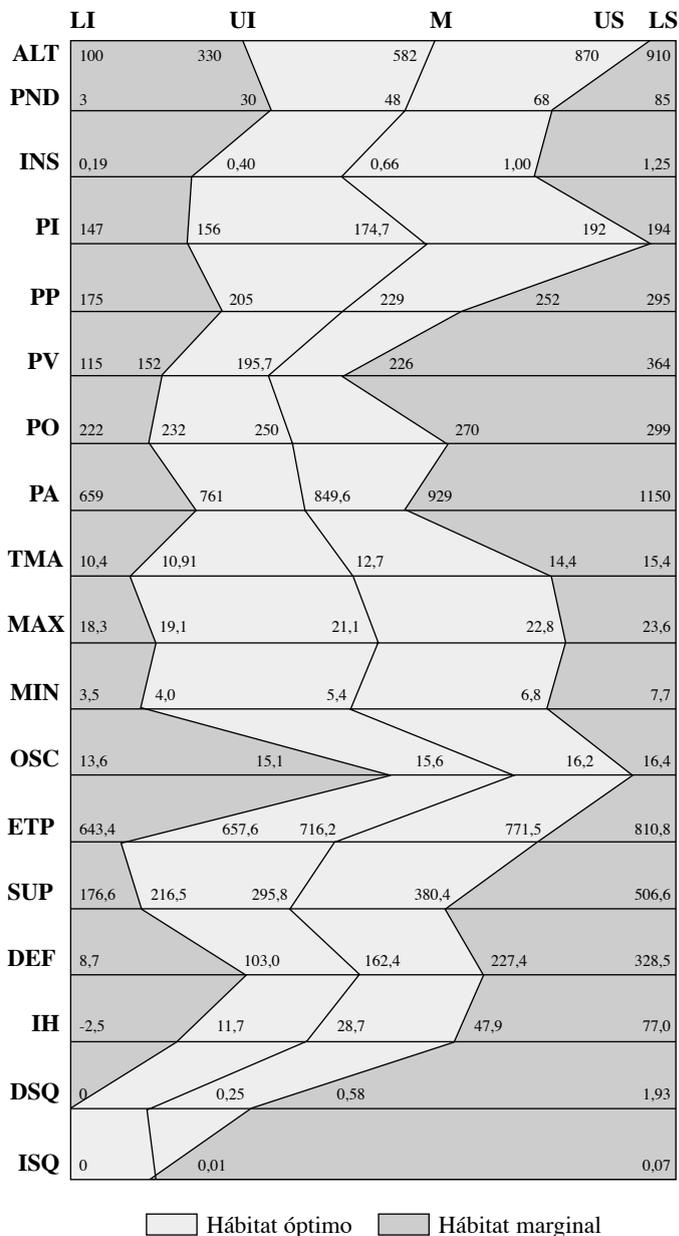


Fig. 3.-Diagrama con los principales parámetros definidores del hábitat fisiográfico y climático de los castañares catalanes. LI: límite inferior.

UI: umbral inferior. M: media. US: umbral superior. LS: límite superior

Diagram of landform and climatic habitat of chestnut stands in Catalonia.

LI: lower limit. UI: lower threshold. M: mean. US: upper threshold. LS: upper limit

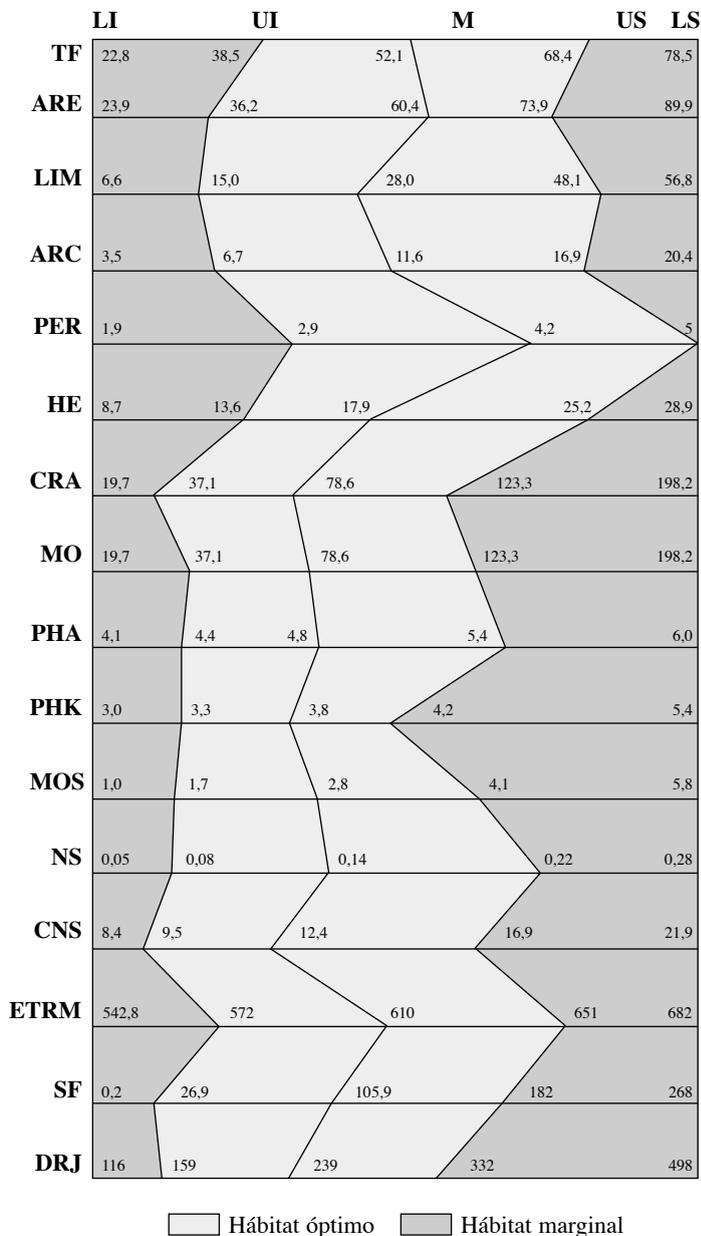


Fig. 4.—Diagrama con los principales parámetros definidores del hábitat edáfico y edafoclimático de los castaños catalanes.

UI: umbral inferior. M: media. US: umbral superior. LS: límite superior

Diagram of soil habitat of chestnut stands in Catalonia.

LI: lower limit. UI: lower threshold. M: mean. US: upper threshold. LS: upper limit

Llama también la atención el hecho de que los suelos sean relativamente pobres en humus, estando el porcentaje de materia orgánica superficial (a 25 cm) por debajo de tres de manera habitual. La relación CNS está por debajo de 15 en 23 de las 28 parcelas muestreadas y sólo en tres se encuentra entre 15 y 20. Es decir, normalmente el humus es del tipo mull forestal y sólo en contadas ocasiones aparece como moder. Los suelos son fuertemente ácidos, con pH en agua generalmente inferior a 5,0 y acidez de cambio inferior a 4,0. Lógicamente los tantos de saturación del complejo de cambio son siempre muy bajos; normalmente por debajo de 30 y sólo por encima de 50 en las parcelas sobre basalto, areniscas y en algún horizonte de las asentadas sobre esquistos.

Evidentemente estas últimas apreciaciones parecen contradictorias y la explicación más lógica es que, a pesar de la acidez, la facilidad de mineralización de la materia orgánica es muy alta por dos motivos: primero, por la bondad del castaño como portador de residuos ricos en bases y, segundo, porque la abundancia de lluvias en verano origina que los procesos de mineralización no sólo no se detengan, sino que se acrecienta en esta época del año. Podemos destacar especialmente a las tres parcelas en las que la relación CNS es mayor de 15, y que lógicamente son las que tienen unos pH muy fuertemente ácidos en agua ($\leq 4,5$).

Correlaciones

En la Tabla 4 se muestran sólo los coeficientes de correlación cuya significación superó el 95 p. 100 de probabilidad. La última fila es la suma, en valores absolutos de dichos coeficientes de correlación, por columnas, y se ha interpretado como una indicación de la mayor o menor independencia de cada parámetro con respecto de los otros siete. Así, hemos comprobado que existe un bloque de tres parámetros FCCP, FCCT y REG que están correlacionados significativamente entre sí y son suficientemente independientes de los demás, salvo el caso de la correlación entre FCCP y el ABAS. Lógicamente, de las relaciones entre estos tres parámetros citados se deduce que a mayor fracción de cubierta arbórea hay mayor dificultad en la regeneración y recíprocamente a la inversa, tal y como cabría esperar de una especie de media luz como es *Castanea sativa*. Los otros cinco parámetros selvícolas están ampliamente correlacionados entre sí, a excepción de ALTD que únicamente lo está con ABAS y HARTC, para el nivel de significación que hemos considerado (> 95 p. 100). HARTC integra mejor el concepto tridimensional de medición de la espesura al incorporar en su cálculo ALTD y, por lo tanto, puede ser considerado como un buen indicador de la calidad actual de la masa. Además, aunque en el cálculo de HARTC no entra explícitamente el área basimétrica, sí la incorpora indirectamente al considerar DENC, tal como también se puede comprobar con el valor del coeficiente de correlación entre HARTC y ABAS (-0,8131, o sea, una relación prácticamente lineal negativa) en los que valores pequeños de HARTC (elevadas espesuras) han de traducirse, con altas ALTD, en elevados valores del área basimétrica.

TABLA 4**COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS SELVICOLAS
(NIVEL DE SIGNIFICACION $p < 0,05$)***Correlation coefficients among silvicultural parameters (level of significance $p < 0.05$)*

	DENP	DENC	ABAS	HARTC	ALTD	FCCP	FCCT	REG
DENP	-	0,8433	0,5592	-0,5463				
DENC	0,8433	-	0,4770	-0,5930				
ABAS	0,5592	0,4770	-	-0,8131	0,6806	0,3751		
HARTC	-0,5463	-0,5930	-0,8131	-	-0,7355			
ALTD			0,6806	-0,7355	-			
FCCP			0,3751			-	0,8999	-0,4568
FCCT						0,8999	-	-0,6376
REG						-0,4568	-0,6376	
ΣI	1,9488	1,9133	2,9050	2,6879	1,4161	1,7318	1,5375	1,0944

Así pues, la información en cuanto a densidades, estructura del vuelo arbóreo, determinación de existencias y de crecimientos, etc. de los castañares catalanes, que recogen estos ocho parámetros selvícolas, puede quedar resumida en los dos indicadores seleccionados: el parámetro REG y el parámetro HARTC, siendo el primero el menos dependiente de los demás, y el segundo uno de los que más tiene que ver con el resto. REG puede ser interpretado como evaluador de la calidad actual de la estación para la regeneración y persistencia de la masa, y HARTC como indicador de las características selvícolas de la masa existente.

Los parámetros abióticos, que en el análisis bivariable salieron correlacionados con los parámetros selvícolas seleccionados con un nivel de significación superior al 90 p. 100, se muestran en la Tabla 5. En ella, podemos comprobar que las mejores estaciones en cuanto a estabilidad (mayor valor de REG) y características de las actuales masas (menores valores de HARTC) son, conjuntamente las de ALT próxima a 750 m, PP próxima a 240 mm, TMA cercana a 11,5 °C, MAX próxima a 20 °C, bajas MIN, así como valores bajos de ETP, DEF, DSQ, ISQ y SF. Además, la regeneración se ve favorecida por suelos arenosos y poco limosos y, por consiguiente, con valores bajos de HE, así como por suelos con CRA próxima a 100 mm. También podemos comprobar que las masas actuales de mejores características apetecen elevadas PO, PI y PV, valores elevados de SUP, de IH y de ETRM, así como suelos con porcentaje de ARC próximo a 15, y elevado porcentaje de MO en el conjunto del perfil, bien porque ésta sea muy abundante en superficie o porque siendo escasa allí esté repartida entre todos los horizontes edáficos.

TABLA 5
COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS SELVICOLAS SELECCIONADOS Y LOS PARAMETROS ECOLOGICOS
Correlation coefficients among silvicultural parameters and ecological parameters

Parámetros	Indicadores selvícolas	
	HARTC	REG
ALT-750	0,4825**	-0,3535°
IPP-240	0,3254°	-0,5499**
TMA-11,5	0,4502*	-0,5037**
MAX-20	0,4349*	-0,5068**
MIN	0,3687°	-0,5340**
ETP	0,4039*	-0,4489*
DEF	0,4974**	-0,3860*
DSQ	0,4567*	-0,4270*
ISQ	0,5613**	-0,4274*
SF	0,4882**	-0,3496°
PI	-0,3436°	-
PV	-0,4573*	-
PO	-0,4025*	-
PT	-0,4742*	-
SUP	-0,4086*	-
IH	-0,4331*	-
ARC-15	0,3386°	-
MO	-0,3219°	-
MOS-2,5	-0,3320°	-
ETRM	-0,4387*	-
ARE	-	0,4753*
LIM	-	-0,5184**
HE	-	-0,4321*
CRA-100	-	-0,3816*

Niveles de significación: °p < 0,1, *p < 0,05 y **p < 0,01.

*Levels of signification: °p < 0.1, *p < 0.05 y **p < 0.01.*

Estos resultados son bastante lógicos y coherentes pues apuntan a que las mejores masas se encuentran fisiográficamente en cotas más bien altas, aunque no excesivamente. Es decir, climáticamente se sitúan en los sitios más lluviosos y frescos, con tal de que en el conjunto del año, y concretamente en verano, no sean demasiado fríos. Edáficamente, en suelos arenosos y poco limosos pero con una cierta cantidad de arcilla que, junto al binomio pedregosidad-pendiente y a una cierta cantidad de materia orgánica, asegure una capacidad de retención de agua que mantenga la sequía fisiológica en niveles poco relevantes, y por lo tanto, la evapotranspiración real máxima posible bastante elevada.

Regresiones

Las ecuaciones de pronóstico que se obtuvieron en las regresiones paso a paso son las siguientes:

$$\text{REG} = 0,476568 - 0,0265569 \cdot x_1 - 0,04026 \cdot x_2 + 0,585464 \cdot x_3 + 0,0873329 \cdot x_4 \quad [1]$$

siendo $x_1 = \text{IPP} - 240$, $x_2 = \text{LIM}$, $x_3 = \text{PHK}$, $x_4 = \text{CNS}$

$$\begin{aligned} \text{HARTC} = & -34,6615 + 202,231 \cdot y_1 + 0,0924199 \cdot y_2 - 2,92678 \cdot y_3 + \\ & + 10,64 \cdot y_4 + 2,92762 \cdot y_5 \end{aligned} \quad [2]$$

siendo $y_1 = \text{ISQ}$, $y_2 = \text{ICRA} - 100$, $y_3 = \text{IMOS} - 2,5$, $y_4 = \text{INS}$, $y_5 = \text{OSC}$

La ecuación 1 absorbe el 66,77 % de la varianza y presenta un error estándar de 0,587, valores que pueden ser considerados como muy aceptables. Destacan los parámetros CNS y PHK que no se habían mostrado significativos en el análisis de correlaciones, y sin embargo parecen explicar una mejor regeneración en aquellos castañares en cuyos suelos la mineralización no sea excesivamente rápida siempre que el pH no indique una extrema acidez.

La ecuación 2, que absorbe el 61,39 % de la varianza y, con un error estándar de 4,324, también puede considerarse como resultado muy aceptable dada la imposible cuantificación antrópica de los tratamientos a que están sometidas las diferentes masas de castaño estudiadas. Se puede comprobar que en esta ecuación aparecen como características positivas, parámetros que en el análisis de correlaciones no se mostraban significativos, tales como bajos valores de INS (situaciones de umbría), escasa OSC (en relación con la proximidad al mar Mediterráneo) y suelos con CRA próxima a los 100 mm (parámetro que ya se había manifestado interesante en las correlaciones con el parámetro REG).

CONCLUSIONES

Los castañares catalanes presentan unos suelos que se han formado sobre rocas ácidas, fundamentalmente ígneas del tipo granodiorita y granito, aunque también abundan sobre esquistos. En todos ellos la textura dominante es la franco-arenosa.

La capacidad de retención de agua es escasa debido de forma importante a la elevada pedregosidad que presentan y a las fuertes pendientes en las que se encuentran. Sin embargo, la regular distribución de las precipitaciones evita la sequía meteorológica y disminuye muy notablemente la sequía fisiológica.

El reparto de las precipitaciones y las fuertes pendientes son la causa de que apenas puedan desarrollarse horizontes árgicos de modo que los suelos de los castañares catalanes son fundamentalmente cambisoles generalmente dístricos.

Los suelos son pobres en materia orgánica y los humus pertenecen fundamentalmente al tipo mull forestal, y ello a pesar de que, mayoritariamente, los suelos son fuertemente ácidos.

Las mejores estaciones (con mejores condiciones para la regeneración y con mejores características actuales simultáneamente) se sitúan entorno a los 750 m de altitud, poseen precipitaciones de primavera cercanas a 240 mm, temperaturas medias anuales sobre los 11,5 °C, temperaturas medias del mes más cálido próximas a 20 °C y sus suelos poseen una capacidad de retención de agua próxima a 100 mm. Además se ven favorecidos por bajos valores de las temperaturas medias del mes más frío, evapotranspiración potencial, suma de déficits, duración de la sequía, intensidad de la sequía y sequía fisiológica.

La regeneración además se ve favorecida por suelos arenosos y poco limosos, con bajos valores de humedad equivalente, no extremadamente ácidos y con lentas tasas de mineralización. Destacamos también el hecho de que la regeneración por brinzales de los castañares catalanes mantengan su típico comportamiento como especie de media sombra, que no se ve favorecida por fracciones de cabida cubierta excesivamente elevadas.

Además, las masas actuales de mejores características se sitúan en zonas con elevados valores de precipitación de otoño, invierno y verano, de suma de superávits, del índice hídrico y de la evapotranspiración real máxima y con escasas oscilaciones térmicas. Sus suelos contienen porcentajes de arcilla próximos a 15, y elevados porcentajes de materia orgánica en el conjunto del perfil. También muestran preferencias por las situaciones de umbría.

Dentro del hábitat del castaño, la facilidad de regeneración de la masa puede estimarse a través de una ecuación de pronóstico en función de la precipitación de primavera, la riqueza en limo, la acidez de cambio y la relación carbono/nitrógeno superficial (ecuación 1).

Asimismo, dentro del hábitat definido, la espesura previsible de la masa, evaluada a través del índice de Hart por número de cepas, puede estimarse a través de otra ecuación de pronóstico (ecuación 2) en función de la intensidad de la sequía, la capacidad de retención de agua, la materia orgánica superficial del suelo, la insolación y la oscilación térmica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la CICYT en el marco del convenio de colaboración entre dicho organismo y el INIA mediante el proyecto FOA 97-1649. Además queremos agradecer la inestimable y siempre grata colaboración prestada por los miembros de la Direcció General del Medi Natural del Departament de Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya.

SUMMARY

Autoecology of sweet-chestnut stands in Catalonia (Spain)

Optimum and marginal parameter ranges have been established for defining landform, climatic and soil habitat diagrams of chestnut (*Castanea sativa* Miller) woodstands in Catalonia. Such diagrams show that most of the Catalonian chestnut stands are located on soils developed from igneous rocks, with predominant sandy-loamy textures. According to FAO criteria, soils are classified as Cambisols. Although soil water holding capacities are considerably low, it does not occur significant drought stress. Despite their relatively high acidity, soil humus form are forest mull. Moreover, several silvicultural parameters have been calculated. After their correlation with the ecological ones, it is concluded that the best chestnut forest sites are located around 750 m elevation, with 240 mm spring rainfall, 11.5 °C mean annual temperature, and 20 °C mean temperature at the hottest month.

KEY WORDS: *Castanea sativa*
Optimum habitat
Marginal habitat
Biotopes
Autoecology
Silviculture
Catalonia

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALLUE J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Col. Monografías INIA, nº 69. M.A.P.A. Madrid.
- BERROCAL M., GALLARDO J.F., CARDEÑOSO J.M., 1997. *El castaño*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- BLANCO A., 1985. Estudio comparativo de los hábitats de *Castanea sativa* y *Pinus pinaster* en la Sierra de Gredos. Boletín de la Estación Central de Ecología. Año XIV, Núm. 27, pp. 35-45. ICONA. Madrid.
- BLANCO A., CASTROVIEJO M., FRAILE J.L., GANDULLO J.M., MUÑOZ L.A., SANCHEZ PALOMARES O., 1989. Estudio ecológico del pino canario. ICONA, serie Técnica, 6. Madrid.
- BREMNER J.M., 1965. Methods of soil analysis. Part 2, pp. 1162-1164. American Society of Agronomy.
- CEBALLOS L., 1966. Mapa forestal de España. Escala 1:400.000. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- CEBALLOS L., RUIZ DE LA TORRE J., 1971. Arboles y arbustos de la España Peninsular. I.F.I.E. y E.T.S.I.M. Madrid.
- ELENA ROSELLO R., 1996. Clasificación biogeoclimática de España peninsular y balear. MAPA. Madrid.
- FAO, 1989. Mapa Mundial de Suelos. Leyenda revisada. Roma.
- GANDULLO J.M. (Ed.), 1972. Ecología de los pinares españoles. III. *Pinus halepensis* Mill. INIA. Madrid.
- 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., 1994. Climatología y ciencia del suelo. Fundación Conde del Valle de Salazar, E.T.S.I. Montes, Univ. Politécnica de Madrid. Madrid. 404 pp.
- GANDULLO J.M., BAÑARES A., BLANCO A., CASTROVIEJO M., FERNANDEZ LOPEZ A., MUÑOZ L., SANCHEZ PALOMARES O., SERRADA R., 1991. Estudio ecológico de la Laurisilva Canaria. ICONA, Colección Técnica. Madrid.
- GANDULLO J.M., GONZALEZ ALONSO S., SANCHEZ PALOMARES O., 1974. Ecología de los pinares españoles IV. *Pinus radiata* D. Don. Monografías INIA, nº 13. Madrid.
- GANDULLO J.M., SANCHEZ PALOMARES O., GONZALEZ ALONSO S., 1983. Estudio ecológico de las tierras altas de Asturias y Cantabria. Monografías INIA, nº 49. Madrid.
- GANDULLO J.M., SANCHEZ PALOMARES O., MUÑOZ L.A., 1998. Una nueva clasificación climática para España. Ecología, 12: 67-77.
- HART H.M.F., 1928. Stamtal en dunning; een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en dunningswijze voor den djati. Veenman & Zonen. Wageningen.
- MALATO-BELIZ J., 1987. O castanheiro na Economia e na Paisagem. Edição da Câmara Municipal de Castelo de Vide. Castelo de Vide.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION, 1997. Anuario de Estadística Agraria. 1997. Madrid.
- POTVIN C., ROFF D.A., 1993. Distribution-free and robust statistical methods: viable alternatives to parametric statistics?. Ecology, 74(6): 1671-1628.
- RIVAS-MARTINEZ S., 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. 1:400.000. Ser. Técnica ICONA. M.A.P.A. Madrid.
- RUBIO A., 1993a. Estudio ecológico de los castañares de Extremadura. Tesis doctoral. ETS Ingenieros de Montes. UPM. Madrid.
- RUBIO A., 1993b. Caracterización del hábitat edáfico de los castañares extremeños. Actas I Congr. Forest. Español. Soc. Española de las Ciencias Forestales. Lourizán (Pontevedra).
- RUBIO A., BLANCO A., SANCHEZ PALOMARES O., 1997. Aportaciones al estudio ecológico de los castañares navarros: suelos, clima y fisiografía. Edafología, 3(2): 479-490.
- RUBIO A., GANDULLO J.M., 1994. Análisis ecológico comparativo de los castañares de Extremadura y de la región cántabro-astur (España). Invest. Agrar. Sist. Recur. For. Vol. 3: 111-124.
- RUSSELL J.S., MOORE A.W., 1968. Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data. Proc. 9th. Int. C. Soil Sci., 4: 205-213.
- SANCHEZ PALOMARES O., BLANCO A., 1985. Un modelo de estimación del equivalente de humedad de los suelos. Montes, 4: 26-30
- SANCHEZ PALOMARES O., SANCHEZ SERRANO F., CARRETERO CARRERO M^o P., 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular. INIA, col. Fuera de serie, 184 pp. (en prensa).
- SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1984. Métodos estadísticos. CECSA. México DF.
- THORNTHWAITE C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38: 55-94.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1955. The water balance. Climatology, 8: 1-104.

- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances. *Climatol.* 10(3): 185-311. Elmer
- USDA, 1975. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook n° 436. Soil Conservation Service, Soil survey staff, U.S. Department of Agriculture, Washintong, DC
- WALKLEY A., 1946. A critical examination of a rapid method of determining organic carbon in soils-effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.*, 63: 251-263.
- WALTER H., LIETH, H. 1960. Klimadiagramm Wetatlas. Veb. Gustav Fischer. Jena.