

Autoecología de los hayedos catalanes

R. Elena * ¹, F. Sánchez ¹, A. Rubio ¹, V. Gómez ¹, A. Aunós ³, A. Blanco ¹,
O. Sánchez ²

¹ Dpto. Silvopascicultura. U.P.M. E-28040. Madrid. España

² INIA-CIFOR. Ctra. La Coruña, Km 7. Apdo. 8111. E-28040. Madrid. España

³ Dpment. Producció Vegetal i Ciencia Forestal, Universitat de Lleida, E-25198. Lleida. España

relena@forestales.upm.es

RESUMEN

Este estudio está basado en el muestreo de campo y posterior análisis de 24 parcelas de hayedo seleccionadas mediante una estratificación de su área de distribución basada en la clasificación CLATERES de la Ecorregión Catalano-Aragonesa. En cada parcela se han evaluado 3 parámetros fisiográficos, 15 climáticos y 18 edáficos, a partir de los cuales se han establecido sus valores paramétricos centrales y marginales que permiten definir los hábitats fisiográfico, climático y edáfico de las masas de *Fagus sylvatica* L. en Cataluña. Los hayedos catalanes se presentan sobre substratos litológicos muy diversos (plutonitas, vulcanitas, metamorfitas y sedimentitas, tanto ácidas como básicas), con texturas predominantes francas, franco-arenosas o franco-limosas. Los suelos, según FAO, son mayoritariamente cambisoles. A pesar de que la capacidad de retención de agua de sus suelos es escasa, la sequía fisiológica es reducida. Los humus predominantemente pertenecen a los tipos mull forestal y mull cálcico. Además, se presentan una serie de parámetros selvícolas (Densidad de pies y densidad de chirpiales, Área basimétrica, Altura Total dominante, Índices de Hart-Becking, Índice de Calidad de Estación y Edad de la masa) que al correlacionarlos con los ecológicos nos ha permitido comprobar que los mejores hayedos se encuentran en las localizaciones más térmicas, en las que incluso se podría producir sequía fisiológica si no fuera por que existen suficientes precipitaciones estivales.

PALABRAS CLAVE: *Fagus sylvatica*
Hábitat central
Hábitat marginal
Biotopos
Autoecología
Selvicultura
Cataluña

INTRODUCCIÓN

Según los datos del Segundo Inventario Forestal Nacional, realizado durante el decenio 1985-1994 y publicado en el Anuario de Estadística Agraria de 1997 (MAPA, 1997),

* Autor para correspondencia

Recibido: 6-3-00

Aceptado para su publicación: 12-1-01

el haya (*Fagus sylvatica* L.) ocupa en España como especie dominante una superficie forestal de 389.654 ha. Esta cifra contrasta con la que se estimó en el Primer Inventario Forestal Nacional (MAPA, 1980), el cual, realizado durante el decenio 1965-74, otorgaba una superficie total de 276.137 ha.

Para la Comunidad Autónoma de Cataluña el citado anuario de estadística cuantifica la superficie forestal ocupada por las masas forestales con hayas como especie dominante en 21.772 ha. Esta cifra refleja también un incremento significativo respecto de la que se estimaba en el Primer Inventario Forestal, en el que la superficie total era de 16.865 ha. En ambos inventarios se incluyen las superficies correspondientes a las provincias de Barcelona y Girona, no reflejándose las superficies de hayedos de Lleida, ya que en ella los hayedos quedan identificados como masas mixtas, sin predominio de las hayas.

La distribución de hayedos dentro de Cataluña refleja una mayor abundancia en las Comarcas del Ripollés y La Garrotxa en la Provincia de Girona, donde se concentra más del 50 % del total. También es importante su presencia en las Comarcas de Val d'Arán (Lleida), El Berguedá y Osona (Barcelona), así como en el Macizo del Montseny localizado entre las Comarcas de La Selva (Girona) y Vallés Oriental (Barcelona). Poca importancia superficial, pero relevante importancia ecológica dada su marginalidad, tienen los hayedos de las Comarcas de Alt Empordá (Girona), Alta Ribagorça (Lleida) y Montsiá (Tarragona). Concretamente en Els Ports de Beseit, se encuentra el límite meridional de la especie en la Península Ibérica. En general, esta especie forestal se encuentra confinada en zonas montañosas del interior de Cataluña: En los Pirineos su presencia se ve reducida a recodos umbríos y a valles abiertos al norte en unas altitudes que van de los 1.000 a 1.700 metros de altitud. Más al sur, en las montañas de La Garrotxa, el haya desciende hacia los valles bajos llegando a los 300 metros de altitud, mientras que en el Montseny se sitúa en las vertientes de umbria entre 900 y 1.600 metros de altitud.

Por lo que a existencias, crecimientos y aprovechamientos se refiere, según el Segundo Inventario Forestal Nacional, los hayedos catalanes presentan las siguientes cifras: (1) Tienen un volumen con corteza de 3.300.000 m³ de los que el 57 % se encuentra en Girona, el 24 % en Barcelona y el restante 19 % en Lleida. (2) Presentan unos incrementos anuales de 112.000 m³ de madera con corteza, que se reparte así: el 66 % en Girona, el 25 % en Barcelona, quedando un 9 % en Lleida. (3) En el período 1974-1990, se hicieron cortas con un promedio anual de 6.520 m³ de madera en Girona, de 2.280 m³ en Barcelona y de 680 m³ en Lleida.

Los hayedos catalanes con predominante aprovechamiento maderero vienen tradicionalmente siendo tratados por entresacas que se repiten cada 15 a 25 años. En ellas se extraen aquellos pies más defectuosos y los que alcanzan un determinado diámetro, dando lugar a unas formas de masa de monte bajo o medio irregular. En general, se observa una alta sobreexplotación, un predominio de la regeneración vegetativa frente a la de semilla y una selección genética negativa, lo cual ha conducido también a una manifiesta degradación forestal (Terradas *et al.* 1984). Cuando se quieren obtener buenos fustes, se aplican turnos de más de 80 años, llegando hasta 160 años.

Aparte de los aprovechamientos madereros, muchos hayedos catalanes han sido intensamente utilizados de manera tradicional para la producción de leñas o carbón, y recientemente para pasta de papel. En algunas zonas las masas presentan formas de monte bajo, con turnos cortos entre 8 y 20 años. Con estas condiciones de masa, la acción de la ganadería fue limitando la regeneración sexual, provocando una profunda degradación forestal de los hayedos, en los que la irregularidad y la falta de vigor vegetativo eran las características más importantes.

La reducción de estos aprovechamientos selvícolas tradicionales y el descenso de la presión pascícola ocurridos en los dos últimos decenios pueden ser los responsables del espectacular incremento de superficie y de existencias, y la gran diferencia que hay en la actualidad entre crecimientos y aprovechamientos. Todo ello a pesar de la existencia de alguna enfermedad de haya como el corazón rojo provocado por el micelio de hongos tales como *Ungulina marginata*, *Ganoderma applanatum* o *Fomes connatus*, al penetrar por alguna herida, o a la presencia de plagas, como *Euproctis chrysorrhoea*, que come hojas, brotes y flores, o *Orchestes fagi*, que solamente defolia.

De los hayedos son apreciados tanto sus productos tangibles, la madera, las setas o los hayucos, como sus efectos ecológicos indirectos como mejoradores edáficos, estabilizadores de laderas, o de regulación del ciclo hídrico. Es por ello que el haya juega un papel importantísimo en la planificación de los territorios adecuados para su implantación, y en base a ello, *Fagus sylvatica* está incluida en el Real Decreto 378/1993 dentro del Anexo 2 como especie cuya plantación tendrá como finalidad doble la restauración y 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 *Fagus sylvatica* uno de los elementos para localizar puntos concretos en dicha Red.

En ese marco, los forestales necesitan sólidos argumentos científico-técnicos que justifiquen la viabilidad de las especies forestales a utilizar en la reforestación de tierras agrarias marginales: Estos argumentos son conocidos de manera general a nivel de la distribución de la especie *Fagus sylvatica*, pero se desconocen cuando se trata de concretarlos de forma cuantificada a nivel regional. Las exigencias climáticas del haya en la Europa han sido estudiadas y acotadas (Szafer, 1932; Watt y Tansley, 1932; Rubner, 1938; Holmsgaard, 1958; Walter, 1968; Lausi y Pignati, 1973; Becker, 1981; Thomasius y Gärtner, 1988), estableciéndose su carácter bioclimático continental, esciofilo e higrófilo. La caracterización edáfica continental de la especie es más imprecisa: Se sabe que el haya es muy tolerante en cuanto a la acidez y a la naturaleza litológica de los suelos, pero que huye de las estaciones encharcadas (Le Tacon, 1981), requiriendo una buena aireación edáfica (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1971; Terradas, 1984). Esta descripción general se rompe cuando se leen estudios de carácter regional: mientras en Gran Bretaña el haya presenta un carácter calcícola al haya (Bunce, 1992), en otros países europeos puede vivir en estaciones de un carácter ácido (Gamisans, 1992; Gruber, 1992; Stoyko, 1992).

Por lo que se refiere a España, se han venido realizando estudios parciales de carácter comarcal y regional que van profundizando en el conocimiento de los requerimientos ecológicos de la especie (Hernández-Bermejo y Sainz-Ollero, 1978; Sánchez Palomares, *et al.*, 1992 y 1993; Aunós *et al.*, 1992; Hernández y Modrego, 1992). Dentro de Cataluña es de destacar el importante estudio ecológico de los hayedos del Montseny (Terradas, 1984), en el que se describe y analiza de modo profundo la fenología, las condiciones edáficas, el crecimiento y producción, la economía hídrica, la composición biocenótica de una parcela experimental de hayedo.

Se plantea el presente trabajo como complemento imprescindible de estudios locales, en el que se profundiza en los requerimientos ecológicos de la especie, tipificando los valores de los principales indicadores edáficos, climáticos y fisiográficos, en su área actual de distribución en Cataluña, relacionándolos con la calidad de sus masas. El estudio se

enmarca, a su vez, en un proyecto más amplio cuyo objetivo es conocer la autoecología del haya en España desde un punto de vista paramétrico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El territorio ocupado por *Fagus sylvatica* L. en la Comunidad Autónoma de Cataluña se sitúa en las provincias de Tarragona, Lleida, Barcelona y Girona y se encuadra entre los 40°42' y 42°52' de latitud N y los 0°33' y 3°05' de longitud E. No obstante las masas más extensas se concentran en El Ripollés y La Garrotxa (Girona), Val d'Arán (Lleida), El Berguedá y Osona (Barcelona), así como en el Macizo del Montseny localizado entre las Comarcas de La Selva (Girona) y Vallés Oriental (Barcelona). Otras masas muy poco extensas se encuentran en Alt Empordá (Girona), Alta Ribagorça (Lleida) y Montsiá (Tarragona).

Las temperaturas medias anuales en el área de estudio oscilan en torno a los 9,5 °C, existiendo zonas en las que las temperaturas medias del mes más frío llegan a - 0,5 °C y otras en las que las temperaturas medias del mes más cálido alcanzan los 21,6 °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 hay alguna presencia en el templado-frío de inviernos fríos. Pluviométricamente suelen sobrepasar los 870 mm pero no los 1.440 mm anuales. La distribución estacional de las lluvias es bastante regular, presentando el mínimo relativo precisamente en la estación más fría y el máximo en la otoñal. El régimen hídrico según Gandullo *et al.* (1998) oscila de axérico a subxérico y subxérico estricto. Según los espacios termoclimáticos propuestos por Rivas-Martínez (1987), los hayedos catalanes se encuentran fundamentalmente en el piso montano de la región Eurosiberiana y en el piso supramediterráneo de la región Mediterránea, aunque también se presentan ocasionalmente en partes altas del piso mesomediterráneo de dicha región. El ombrotipo que aparece es el húmedo, en ambas regiones corológicas.

Según la clasificación fitoclimática de Allué (1990) los hayedos catalanes se concentran preferentemente en los ámbitos fitoclimáticos VI(V) y (VI) ambos nemorales genuinos característicos de la fisonomía planocaducifolia. Aparecen también con alguna frecuencia en los ámbitos VI(VII) nemoral subestepario y VIII(VI) oroborealoide subnemoral, típicas transiciones hacia las fisonomías planicaducifolia marcescente y la aciculiperennifolia. Por último, y con carácter marginal muy poco frecuente se encuentra presencia de haya en el ámbito VI(IV)4 nemoromediterráneo submediterráneo e incluso en el ámbito VI(IV)2 mediterráneo subnemoral. No obstante, la presencia de hayedos en recintos cartográficos de estos ámbitos debe ser explicada por el hecho de que dentro de ellos, el haya aparece en situaciones fisio-topográficas excepcionales, en umbrías con frecuente presencia de precipitaciones horizontales que modifican profundamente las condiciones fitoclimáticas de la zona.

Biogeográficamente, y de acuerdo con Rivas-Martínez (1987), el territorio donde se presentan los hayedos catalanes se asienta fundamentalmente en la región Eurosiberiana, dentro de la provincia Pirenaica en los sectores Pirenaico oriental y central, si bien algunas de las masas se aproximan hacia los retazos más orientales del límite de la región Me-

diterránea en la Península Ibérica (Provincia Catalano-Valenciano-Provenzal, sector Vallesano-Empordanés, subsector Montsignático-Ripollés). Fitogeográficamente, Costa *et al.* (1998), incluyen a los hayedos catalanes entre los dos siguientes tipos de hayedos ibéricos: Los situados en el Pirineo Leridano y en Els Ports de Beseit, son hayedos submediterráneos con presencia de boj; Los restantes hayedos, situados en Girona y Barcelona son hayedos oligotrofos y eutrofos empobrecidos por mediterraneidad.

Los hayedos catalanes se encuentran sobre substratos litológicos extremadamente variados. Son abundantes sobre rocas calizas, margas y areniscas calcáreas en las comarcas del Ripollés, Berguedá y la Garrotxa. Pero también se encuentran con frecuencia sobre substratos de reacción ácida, bien metamórficos, tales como cuarcitas, pizarras, esquistos micáceos en la Vall d'Aran y en el Montseny, bien sobre sedimentos de areniscas y conglomerados en el Ripollés, el Berguedá, Osona y la Garrotxa. Por último se presentan sobre rocas plutónicas ácidas en la Selva y Vallés oriental y en alguna ocasión sobre rocas extrusivas volcánicas en la Garrotxa.

Métodos

Para la planificación del muestreo y la cuantificación superficial de los hayedos 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 litológicos, divide el territorio nacional en siete Ecorregiones y cada una en una serie de menores clases territoriales. El territorio catalán, y por tanto todos sus hayedos, se encuentra dentro de la 3.^a Ecorregión (Catalano-Aragonesa), la cual se divide en 41 clases territoriales. Dicha Ecorregión se extiende por la totalidad de los territorios de Cataluña y de Aragón, así como por la mitad suroriental de Navarra, mitad oriental de La Rioja, comarcas del este de la provincia de Soria, en Castilla y León, Tierras de Molina en la provincia de Guadalajara, en Castilla y La Mancha, y en el interior del Maestrazgo en provincia de Castellón, en la Comunidad Valenciana.

Para diseñar el muestreo, se analizó la dispersión de los hayedos existentes en todas esas Comunidades Autónomas, observándose que aparecen en 20 clases territoriales. Si se observa el dendrograma de división de las 41 Clases Territoriales, (Elena, 1997), se observa claramente un gradiente en las clases territoriales que, de izquierda a derecha, van creciendo en altitud, frío y pluviosidad. Es por ello que en las 13 primeras clases territoriales no hay presencia de hayedos, que en el grupo de clases 313 a 323, los hayedos se presentan con carácter marginal, y que su presencia es muy elevada en las clases 324 a 331, volviendo a ser menor su presencia en las clases 332 a 341.

En virtud de la anterior distribución, se decidió llevar a cabo la siguiente estratificación territorial a la hora de hacer el muestreo [Los datos superficiales son los obtenidos a partir del Mapa Forestal de Ceballos (1966)]:

A) **Estrato Primero:** Clases Territoriales 313 a 331, que incluye a los hayedos marginales por su menor altitud y pluviosidad, y mayor termicidad. En este estrato se presentan algo más de 6.000 ha de hayedo, de las que 3.000 ha son hayedos catalanes.

B) **Estratos Segundo y Tercero:** En las Clases Territoriales 331 a 337 aparecen casi el 60 % de los hayedos de la Ecorregión. Por ello se ha juzgado conveniente definir dos estratos dentro de este grupo, de acuerdo con el nudo A del dendrograma:

Estrato Segundo, que incluye las Clases Territoriales 332, 333 y 334, algo menos frío que incluye unas 10.000 ha de hayedos, de los que 6.000 ha se encuentran en Cataluña.

Estrato Tercero incluye las Clases Territoriales 335, 336 y 337, con un total de 15.000 ha de hayedos, de las que más de 10.000 ha están en territorio catalán.

C) **Estrato Cuarto**: Por último, las clases 338 a 341 definen un cuarto estrato con unas 12.500 ha de hayedos, casi todas ellas en Cataluña, situadas en las zonas más altas en que *Fagus sylvatica* se encuentra dentro de la región.

En la Figura 1 aparece el reparto geográfico de las masas de los hayedos en dichos estratos según Ceballos. En el muestreo se ha prescindido de la anecdótica representación de hayedos existente en Els Ports de Beseit, cuya inclusión en el estudio podía sesgar la interpretación de los resultados.

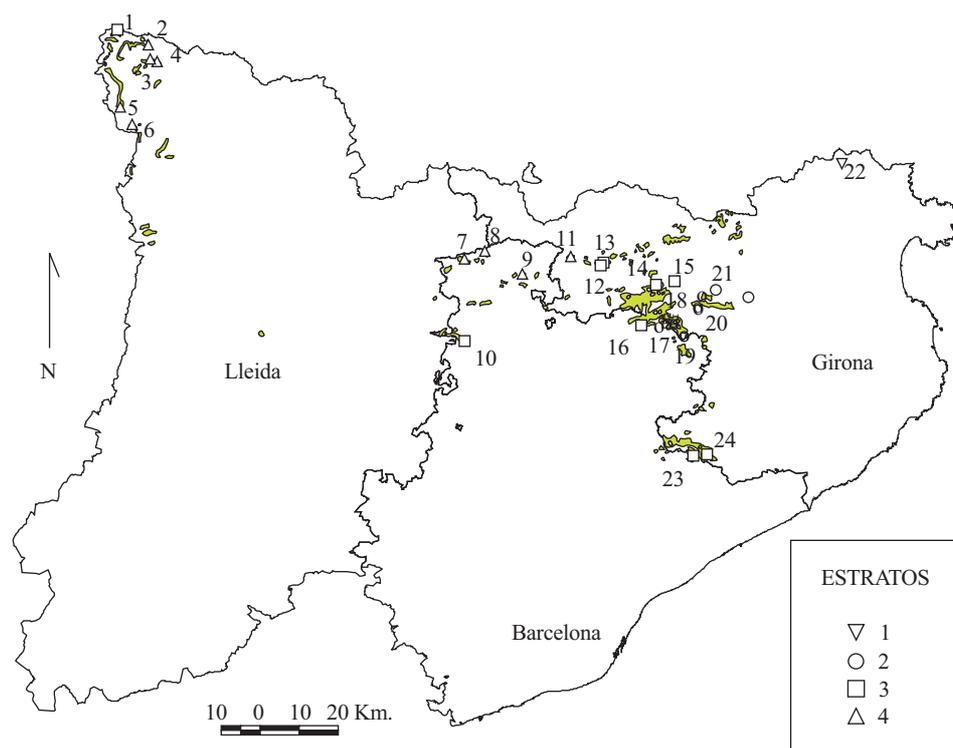


Fig. 1.—Mapa de distribución de las masas de hayedo de Cataluña, con la localización de los puntos de muestreo del estudio de los hayedos de Cataluña, identificados según el estrato del muestreo basado en la Clasificación Biogeoclimática Territorial de España Peninsular y Balear (Elena, 1996)

En lo que se refiere al reparto de las muestras, el diseño experimental se ha apoyado, pues, en la estratificación del territorio y en la necesidad de estudiar un mínimo número de parcelas con objeto de tener datos suficientes para poder obtener resultados estadísticamente significativos. Habida cuenta de la extensión superficial de cada estrato se acordó fijar un total de 24 parcelas muestrales cuya posición queda indicada en la ya referida Figura 1 y que responde a la siguiente distribución:

Estrato	Parcelas
Primero	2
Segundo	5
Tercero	9
Cuarto	8

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 plasmadas en una serie de datos dasométricos que eran distintos según cual fuera la forma de la masa: monte alto, monte bajo y monte medio; n.º de pies de diámetro normal superior a 7 cm; n.º de cepas, en caso de monte bajo o monte medio; altura total y edad, medida mediante barrena de Pressler, de los dos o tres árboles dominantes de cada parcela; fracción de cabida cubierta del hayedo y del conjunto de los pies arbóreos cuando existan pies de otra especie; inclinación y forma del fuste, altura de inserción de la primera rama viva si estaba a menos de 6 metros y altura de la rama más gruesa no viva que tuviese un grosor de más de la quinta parte del diámetro del fuste y de su ángulo de inclinación.

Con los cuatro primeros datos se elaboraron los siguientes parámetros selvícolas: DENP: número de pies por hectárea; DENC: número de cepas por hectárea; ABAS: área basimétrica por hectárea; HARTC: índice de Hart-Becking de las cepas (Hart, 1928); ALTD: altura total dominante; FCCP: fracción de cabida cubierta del hayedo; FCCT: fracción de cabida cubierta de todo el arbolado; EDAD: Edad de los árboles dominantes y CAL: calidad del arbolado, aplicando el site index de Madrigal (1989) con el que se evalúa la calidad de la estación mediante la estimación de la altura dominante de la masa a los 100 años de edad con la fórmula:

$$CAL = e^{5,4813 + 0,3162(\text{LnH} \setminus 5,4813) t^{0,25}}$$

siendo H y t la altura total y la edad de los árboles dominantes, medidos en metros y años.

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 hayedos 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) (Thornthwaite, 1948). El régimen hídrico se analizó mediante la suma de superávits (SUP) y suma de déficit (DEF), el índice hídrico (IH) (Thornthwaite, Mather, 1955, 1957), la duración de la sequía (DSQ) y la intensidad de la sequía (ISQ) (Walter, 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, 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, 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), acidez de cambio (valor del pH en KCl, en proporción 1:2,5) (PHK), Carbonatos inactivos (% de carbonatos existentes en la gravilla fina) (CI) y Carbonatos activos (% de carbonatos existentes en limos y arcillas) (CA). 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, 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 24 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 % de las parcelas estudiadas (umbral inferior, UI y umbral superior, US) y que excluyen el 10 % de aquellas en las que el parámetro toma los valores mayores aparecidos y el otro 10 % en las que alcanza los valores mínimos (Gandullo, 1972; Gandullo *et al.*, 1974,

1983, 1991). El área definida por el 80 % de los casos constituye el denominado **hábitat central** de los hayedos (US-UI). Las áreas que circunscriben los límites de dicho hábitat óptimo y los extremos absolutos, se definen como **hábitats marginales** de dichos hayedos (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 índices selvícolas más adecuados 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, 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, Cochran, 1984), especialmente si las variables ambientales están fuertemente correlacionadas y resulta difícil separar su efecto conjunto (Potvin, 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 mejor predicción posible de la variable dependiente con las variables regresoras utilizadas.

Todos los análisis estadísticos han sido realizados con el programa STATGRAPHICS plus versión 2.1, así como el programa SPSS/PC, versión 4.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis exploratorio

La mayor parte de los parámetros selvícolas presenta unos coeficientes de variación no muy elevados y bastante similares, mostrando unas desviaciones con respecto a las distribuciones normales de escasa cuantía (Tabla 1). No obstante, los parámetros relativos a las densidades de la masa DENP, DENC y ABAS, así como la edad y calidad de la masa se alejan de ello, como reflejo de la fuerte variabilidad existente en la calidad estacional, edad y densidad de los hayedos catalanes, que queda perfectamente reflejada en la muestra aquí elegida para el estudio.

Tabla 1
Estadísticos de los parámetros selvícolas de los hayedos catalanes estudiados
(n = 24)

Parámetro	Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis	C. V. (%)
DENP (n.º · Ha ⁻¹)	927,9	980,8	80	4.800	3,033	10,822	105,72
DENC (n.º · Ha ⁻¹)	619,6	368,5	80	1.600	0,725	0,658	59,45
ABAS (m ² · Ha ⁻¹)	35,18	17,28	9,59	90,29	1,880	4,556	49,11
HARTC	24,38	8,57	14,74	46,21	1,099	0,368	35,15
ALTD (m)	21,31	4,41	13	27,50	-,176	-1,232	20,69
FCCP (%)	86,67	13,08	50	100	-1,098	1,091	15,09
FCCT (%)	89,58	11,60	60	100	-1,006	0,341	12,94
REG	2,04	0,550	1	3	0,037	0,825	26,96
EDAD (años)	86	42,86	64	170	-0,477	0,618	49,83
CAL	19,9	8,59	16,30	31	-1,501	1,867	43,16

En el conjunto de parámetros abióticos (Tabla 2) destacan por su escasa variabilidad los parámetros climáticos MAX, OSC y ETP, y el edafoclimático ETRM. En cambio, los parámetros edáficos CI y CA y el edafoclimático SF presentan unos elevados coeficientes de variación: los dos primeros presentan valores tan elevados como consecuencia de la naturaleza caliza de 9 de los perfiles edáficos analizados (37,5 % de los perfiles muestreados) teniendo ellos a su vez distintos grados de descarbonatación. Por lo que se refiere a la sequía fisiológica, la elevada variabilidad del parámetro viene determinada por la existencia de dos estaciones con valores superiores a 60 mm, los cuales deberían ser incompatibles con la existencia de hayedos. La razón de lo contrario es la existencia de precipitaciones horizontales estivales no cuantificadas en el balance hídrico llevado a cabo, pero de cuya alta frecuencia hay constancia en los registros meteorológicos de las comarcas del Montseny y de La Garrotxa. Asimismo, son estos parámetros los que presentan mayores desviaciones en las distribuciones con notoria asimetría con respecto a la normal. Las distribuciones de los demás datos muestran sólo suaves tendencias leptocúrticas y ligeras desviaciones con respecto a la normal.

Tabla 2
Estadísticos de los parámetros ecológicos de los hayedos estudiados de Cataluña
(n = 24). Las variables sin unidades son adimensionales

Parámetro	Media	D.E.	Mínimo	Máximo	Sesgo	Kurtosis	C. V. (%)
ALT (m)	1.180	267,6	625	1.630	-0,09	-0,62	22,68
PND (%)	48	16,2	15	81	-0,13	-0,13	33,84
INS	0,68	0,268	0,29	1,27	0,62	-0,60	39,41
PA (mm)	1.072,8	195,4	874	1.444	1,08	-0,36	18,22
PP (mm)	284,8	41,1	240	365	1,03	-0,42	14,48
PV (mm)	296,9	43,22	193	354	-0,80	0,21	14,60
PO (mm)	289,5	63,40	222	409	1,08	-0,32	21,94
PI (mm)	201,6	68,21	136	352	1,22	0,07	33,94
TMA (°C)	9,6	1,98	6,17	12,93	0,01	-0,86	20,63
MAX (°C)	18,0	1,974	14,4	21,6	-0,14	-0,66	10,94
MIN (°C)	2,3	1,953	-0,6	6,6	0,33	-0,59	84,05
OSC (°C)	15,7	0,880	13,2	17,4	-0,46	2,16	5,60
ETP (mm)	618,5	60,8	507,2	724,2	-0,12	-0,72	9,84
SUP (mm)	498,1	218,0	258,4	940,3	1,08	-0,38	43,78
DEF (mm)	43,8	34,6	3,6	138,7	1,12	0,86	77,62
IH	80,0	46,9	28,8	185,0	1,09	-0,20	58,62
TF (%)	44,55	24,95	9,31	93,67	0,34	-0,93	56,00
ARE (%)	40,42	18,71	16,38	73,90	0,28	-1,20	46,29
LIM (%)	39,15	12,93	14,44	64,79	-0,17	-0,44	33,03
ARC (%)	20,47	8,97	6,86	37,94	0,62	-0,56	43,82
PER	3,05	1,24	1,46	3,54	0,41	-1,44	40,65
HE (%)	26,42	6,32	16,61	39,16	0,06	-0,96	23,92
CRA (mm)	93,24	58,93	28,48	228,56	1,06	0,44	63,20
MO (%)	3,82	2,32	1,39	10,06	1,45	1,52	60,73
PHA	5,95	1,28	4,18	7,77	0,18	-1,56	21,51
PHK	5,31	1,39	3,17	7,34	0,18	-1,52	26,18
CI	18,65	28,74	0	88,87	1,27	0,29	154,10
CA	2,87	5,49	0	17,06	1,84	1,87	191,29
MOS (%)	5,95	3,56	2,32	14,31	1,19	0,50	59,83
NS (%)	0,28	0,15	0,09	0,74	1,48	2,48	53,57
CNS	12,03	3,042	7,29	19,56	0,74	0,05	25,27
PDS	1,875	0,900	1	4	1,04	0,81	48,78
DRS	2,083	0,504	1	3	0,20	1,46	24,00
ERO	1,417	0,504	1	2	0,36	-2,05	35,28
ETRM (mm)	604,64	52,64	507,19	701,72	-0,09	-0,46	8,71
SF (mm)	13,87	18,12	0,05	65,27	1,90	3,17	130,64
DRJ (mm)	468,15	231,34	198,28	738,53	1,03	-0,43	49,43

En la Tabla 3 podemos comprobar que, desde el punto de vista de los materiales parentales, el 38 % (9 parcelas) son rocas calizas, y de las cuales 5 presentan textura Franca, 2 textura Franco-arcillosa y otras 2 textura Franco-limosa. Otro 29 % (7 parcelas) son rocas metamórficas, de las que 4 presentan textura Franca, 2 textura Franco-arenosa y 1 textura Franco-limosa. Además, el 21 % (5 parcelas) están sobre rocas areniscas, de las que 2 tienen textura Franca, otras 2 textura Franco-Limosa y 1 textura Franco-Arenosa. Por último, hay 2 parcelas sobre plutonitas, ambas con textura Franco-arenosa y una sobre vulcanitas, también con textura

Tabla 3

Características generales de las parcelas estudiadas: estrato territorial, localidad, perfil del suelo, tipo de suelo, roca madre y textura

Parc.	Estrato	Provincia	Localidad	Tipo de perfil	Tipo de suelo	Litofacias	Textura
1	3	Lleida	Bausen	A; Bt; C/R	Cambisol dístico	Metamorfitas	VIII
2	4	Lleida	Caneján	Ahe; A; Bw	Umbrisol háplico	Metamorfitas	VII
3	4	Lleida	Viella	Ahe; Bw; Bw/C	Cambisol dístico	Metamorfitas	VII
4	4	Lleida	Viella	Ah; Bw; C	Cambisol dístico	Metamorfitas	VII
5	4	Lleida	Viella	Ah; Bt/C	Leptosol úmbrico	Metamorfitas	VII
6	4	Lleida	Viella	Ae; Bw; Bw/C	Leptosol dístico	Plutonitas	IX
7	4	Barcelona	Gisclareny	Ahe; Bts1; Bts2; Bts3	Phaeozem lúvico-calcárico	Calizas	IV
8	4	Barcelona	Guardiola de Berguedá	A; Bt; C	Luvisol crómico	Calizas	VII
9	1	Barcelona	La Pobra de Lillet	A; Bw; Bw/C	Cambisol calcárico	Calizas	IV
10	3	Barcelona	Capolat	A; Bw1/C; Bw2/C Bs/C	Cambisol calcárico	Calizas	VII
11	4	Girona	Gombreny	A; Bt; 2C; 3C	Luvisol háplico	Calizas	VII
12	3	Girona	Ribes de Freser	A; Bt; Bt/C; R	Luvisol léptico	Calizas	VII
13	3	Girona	Ogassa	A; Bt; Bt/C	Cambisol éutrico	Areniscas	VII
14	3	Girona	Riudaura	A; Bw; C	Cambisol éutrico	Areniscas	VIII
15	3	Girona	La Vall de Bianya	A; Bw; R	Cambisol léptico-calcárico	Calizas	VIII
16	3	Girona	Vidrà	Ae; Bt1; Bt2	Cambisol léptico-dístico	Areniscas	VII
17	2	Girona	Vall d'en Bas	A; Bt; R	Luvisol léptico-calcárico	Calizas	VII
18	2	Barcelona	Sant Pere de Torelló	A; Bw1; Bw2; C	Cambisol calcárico-crómico	Calizas	VIII
19	2	Barcelona	Rupit i Pruit	A; Bw; Bw/C	Cambisol éutrico	Areniscas	VIII
20	2	Girona	Les Preses	A; Bw; C	Cambisol éutrico	Areniscas	IX
21	2	Girona	Santa Pau	Ah; Bw1/C; Bw2/C	Leptosol dístico	Vulcanitas	IX
22	1	Girona	La Jonquera	Ah; Bt; Bt/C; 2C; 3C	Cambisol dístico	Metamorfitas	IX
23	3	Girona	Arbucies	Ae; Bw; Bw/C	Umbrisol háplico	Metamorfitas	IX
24	3	Girona	Arbucies	A; Bw; C	Cambisol dístico	Plutonitas	IX

Franco-arenosa. En general, los suelos son bastante o muy pedregosos, ya que en más de las dos terceras partes de las parcelas, los suelos tienen menos del 50 % de tierra fina, siendo sus texturas predominantemente Francas (45 %), en algunos casos Franco-arenosas (25 %) o Franco-limosos (21 %) y muy escasamente Franco-arcillosas (4 %).

Los suelos de los hayedos catalanes desarrollados sobre calizas presentan un grado de descarbonación muy variable. En un total de 9 parcelas, 3 de ellas presentan porcentaje de carbonato activo menor del 2 %, pudiendo calificarse como completamente descarbonatadas; en dos parcelas el porcentaje de carbonato calcárico activo es del 3 %, y en 4 parcelas el porcentaje oscila entre el 12 y 17 %, pudiendo calificarse como suelos algo descarbonatados.

Si nos fijamos en la acidez, el pH de acuerdo con la clasificación de Wilde permite caracterizar las parcelas del siguiente modo: Un 12,5 % de los suelos son muy fuertemente ácidos, 33 % son suelos moderadamente ácidos, 17 % son suelos neutros y 25 % son suelos algo moderadamente básicos, suelos que como es lógico se corresponden con los que presentan mayor porcentaje de carbonato calcárico activo.

La clasificación de humus de acuerdo con la relación Carbono/Nitrógeno nos muestra un 29 % de parcelas con mull calcárico; 8 % con mull forestal eutrófico; un 46 %, con mull forestal oligotrófico, y un 17 %, con moder. De estos resultados se puede destacar el contraste existente con el hecho de que, a pesar de que más de un 45 % de los suelos sean fuertemente o muy fuertemente ácidos, el porcentaje de parcelas con humus moder es francamente inferior, que no tiene una fácil explicación si tenemos en cuenta que la hojarasca de haya se caracteriza por la escasez de nitrógeno, provocada por procesos de traslocación de nitrógeno en la hoja previos a su caída (Terradas, 1984).

Si prestamos atención a la capacidad de retención de agua de los suelos, es muy variada. En general, la capacidad de retención es más bien escasa debido a su elevada pedregosidad y fuertes pendientes. Sin embargo, dado que el reparto de las precipitaciones hace que la sequía meteorológica sea nula, se tiene que la sequía fisiológica de los hayedos es escasa o nula: siempre inferior a los 70 mm y, muchas veces, por debajo de los 25 mm. Consecuentemente, los valores de la evapotranspiración real máxima posible son muy similares a los de la evapotranspiración potencial.

De acuerdo con la clasificación de suelos (FAO, 1989) los tipos de suelos que hemos encontrado en los hayedos, son predominantemente cambisoles (58 %); entre ellos abundan los de carácter distríctico sobre los éutricos y calcáricos, y en una el crómico. Asimismo se presentan luvisoles (17 %), leptosoles (13 %), umbrisoles (8 %) y un phaeozem lúvico-calcárico. Todos los cambisoles distrícticos y eutricos, los umbrisoles y los leptosoles aparecen en parcelas de material parental silíceo. Las calizas dan lugar a cambisoles de carácter calcárico, a luvisoles y, como cabría esperar, al phaeozem.

Hábitats centrales y marginales

El hábitat central tal como se presenta en las Figuras 2 y 3 permite definir el área potencial del hayedo en Cataluña, ya que en las regiones marginales la presencia del hayedo puede deberse a una serie de compensaciones diversas entre los factores ecológicos, o incluso a parámetros no considerados en este trabajo. En la Figura 2 se muestra el diagrama representativo del hábitat fisiográfico y climático de los hayedos catalanes y en la Figura 3 el del hábitat edáfico y edafoclimático. La observación de los mismos nos permite reincidir en las observaciones realizadas anteriormente: Los hayedos se localizan preferentemente en pendientes fuertes a muy fuertes, con cotas que oscilan entre los 830 y los 1.500 metros s.n.m., con exposición predominantemente de umbría. Las precipitaciones anuales óptimas deben superar los 900 mm, llegando hasta los 1430 mm, y su distribución es bastante equilibrada estacionalmente, con claro mínimo invernal, lo cual da lugar al rasgo climático general de la nula existencia de sequía meteorológica, expresada en los climodiagramas de Walter y Lieth. En consecuencia, según el índice hídrico anual de Thornthwaite, la mayor parte (75 %) de las parcelas están bajo clima húmedo, y sólo el 25 % bajo clima perhúmedo. Térmicamente, la mayor parte de los hábitats se encuentran bajo clima mesotérmico y en algún caso microtérmico.

Cabe comparar los hábitats central y marginal obtenidos para los hayedos de Cataluña con los correspondientes a los hayedos de Navarra (Sánchez Palomares *et al.*, 1992): Los hayedos catalanes se sitúan en estaciones algo más altas, con más pendiente y menor insolación que los navarros: su situación algo más meridional y, sobre todo más próxima al Mediterráneo lo justifican. Por otra parte, las precipitaciones anuales son bastante inferiores a las de Navarra, y su distribución estacional también difieren ya que no presenta el mínimo estival de los hayedos navarros. Los hayedos catalanes son ligeramente más térmicos y presentan cifras similares de evapotranspiración potencial.

Si analizamos los diagramas correspondientes al hábitat edáfico, 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 capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos de los hayedos catalanes es un 50 % menor que la de los hayedos navarros, mientras que la humedad equivalente (HE) viene a ser de la misma cuantía. La equilibrada distribución de lluvias hace que la sequía meteorológica sea nula y que, en consecuencia, la sequía fisiológica (SF) sea, en general, muy reducida, y la evapotranspiración real máxima posible (ETRM), que de alguna manera refleja la capacidad productiva, sea bastante elevada.

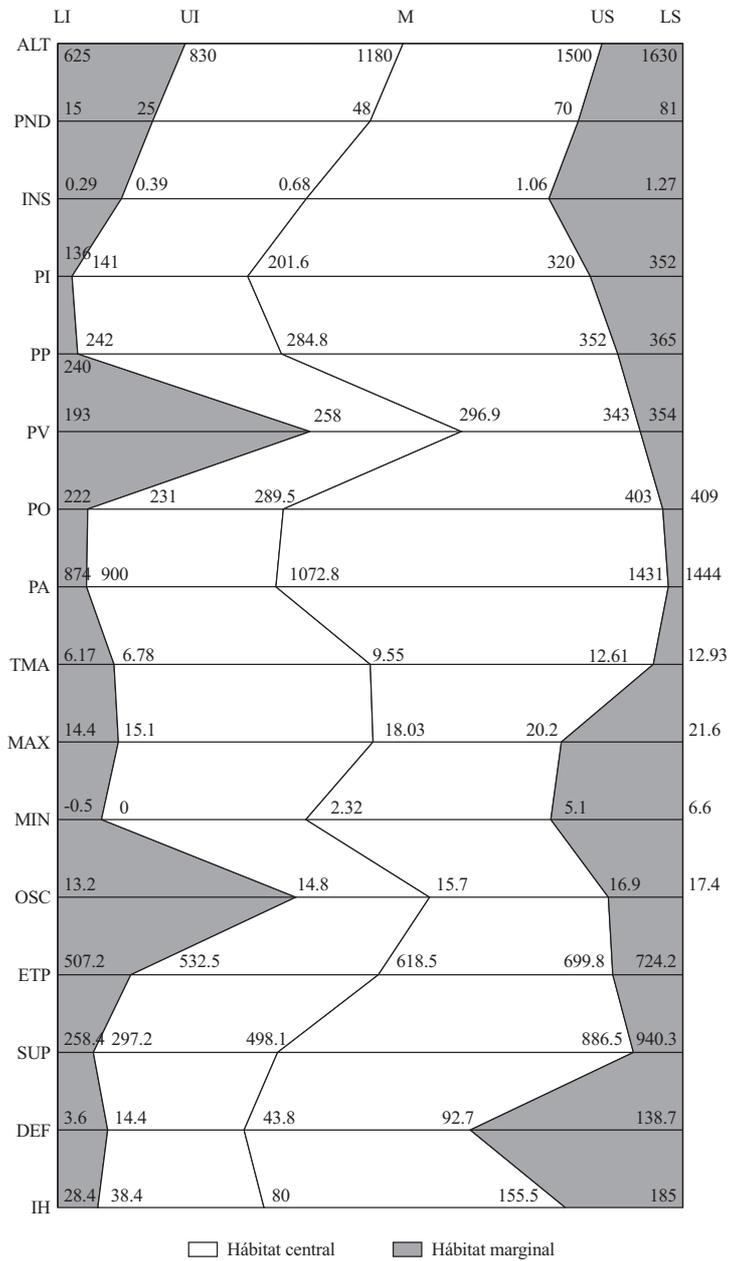


Fig. 2.—Diagrama con los principales parámetros definidores del hábitat fisiográfico y climático de los hayedos catalanes
 LI: Límite inferior. UI: umbral inferior. M: media. US: umbral superior. LS: Límite Superior

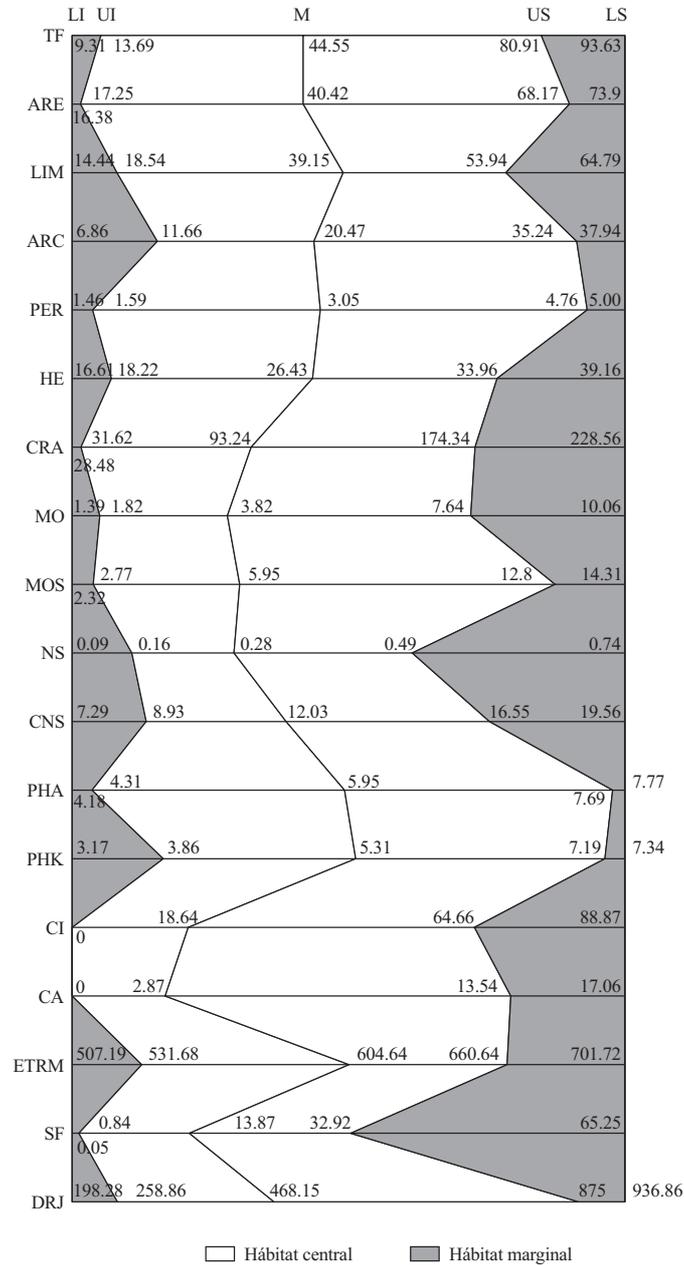


Fig. 3.—Diagrama con los principales parámetros definidores del hábitat edáfico y edafoclimático de los hayedos catalanes
LI: Límite inferior. UI: umbral inferior. M: media. US: umbral superior. LS: Límite Superior

Por lo que se refiere al humus, los hayedos catalanes presentan valores muy similares a los de Navarra, tanto en riqueza como en relación Carbono/Nitrógeno, caracterizándose como humus del tipo *mull forestal*. En cuanto a la acidez edáfica, el hábitat óptimo es más amplio que el de los hayedos navarros, presentándose incluso en suelos moderadamente básicos. En consecuencia, las tasas de saturación del complejo de cambio son también variadas, oscilando entre valores inferiores al 30 % y valores superiores al 50 %, dándose también variaciones significativas en la velocidad de mineralización. En efecto, partiendo de la constancia de que las hojas de haya se descomponen lentamente debido a su alto contenido en taninos y lignina y la baja concentración en Nitrógeno, trabajos previos realizados en hayedos catalanes del Montseny dan unos tiempos de semidescomposición de la hoja de 1,5 años, bajo unas condiciones de humus mull ácido (Terradas, 1984). Sin embargo, en hayedos desarrollados en suelos sobre substrato de naturaleza caliza, con humus del tipo *mull forestal*, la mineralización se facilita mucho más.

Análisis de Correlación y de Regresión

En la Tabla 4 se muestran sólo los coeficientes de correlación cuya significación superó el 95 % 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. A la vista de ello, se comprueba que destacan y se seleccionan tres parámetros selvícolas, ABAS (Área Basimétrica), CAL (Calidad de Estación) y HARTC (Índice de Hart por número de cepas), por su mayor independencia respecto del conjunto de parámetros, con valores totales de 0,799, 1,026 y 1,134 respectivamente. De los tres parámetros seleccionados, tanto ABAS como HARTC, dependen en algún grado, además de las características del biotopo, de la edad de la masa y del tipo y momento en que se realizaron los últimos tratamientos selvícolas. Por su parte, CAL al estar basado en la relación edad/altura dominante de las masas, es bastante independiente de los tratamientos selvícolas (Assman, 1968), por lo que se considera un verdadero índice de calidad de estación o índice de sitio. Para cada uno de los tres parámetros seleccionados se ha llevado a cabo el análisis de correlación y posterior regresión con los parámetros abióticos, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4
Coeficientes de correlación entre los parámetros selvícolas
(nivel de significación $p < 0,05$)

	DENP	DENC	ABAS	HARTC	ALTD	FCCP	FCCT	EDAD	CAL
DENP	X	0,851	–	–0,436	–0,480	–	–	–	–
DENC	0,850	X	–	–0,698	–0,552	–	–	–	–
ABAS	–	–	X	–	–	–0,385	–0,414	–	–
HARTC	–0,436	–0,698	–	X	–	–	–	–	–
ALTD	–0,480	–0,552	–	–	X	–0,388	–0,419	0,463	0,596
FCCP	–	–	–0,385	–	–0,388	X	0,899	–0,440	–
FCCT	–	–	–0,414	–	–0,419	0,899	X	–0,560	–
EDAD	–	–	–	–	–0,463	–0,440	–0,560	X	–0,431
CAL	–	–	–	–	–0,596	–	–	–0,4305	X
Σ	1,766	2,100	0,798	1,134	2,897	2,063	2,243	1,893	1,026

Área Basimétrica

De los 34 parámetros abióticos analizados en su correlación con ABAS, 21 presentaron correlaciones significativas con probabilidad superior al 90 %. Entre ellos el de mayor correlación fue el índice hídrico, que con su transformado $|IH - 70|$ alcanza un índice de +0,778. Su análisis nos lleva a observar que las mayores áreas basimétricas se encuentran en parcelas que se localizan en las zonas alejadas de los valores medios. Es decir, las áreas basimétricas son mayores bien en zonas con precipitaciones menos abundantes pero con un régimen térmico también menos frío donde el período vegetativo es más largo, o en zonas donde el régimen pluviométrico es más húmedo y donde, a pesar de que el régimen térmico sea también más frío, el período vegetativo no sufre limitaciones por falta de agua.

Del análisis de regresión múltiple paso a paso llevado a cabo en sentido ascendente, se ha llegado a la siguiente ecuación de pronóstico del área basimétrica de una estación de hayedo en Cataluña. Las variables aparecen en la ecuación en el orden de su incorporación al modelo por el procedimiento paso a paso, siendo todas ellas significativas:

$$ABAS = - 15,770 + 1,626 |IH-70| + 0,147 TF - 0,283 |DRJ-400| + 0,174 PI$$

Esta ecuación absorbe un 81,3 % de la variabilidad total, siendo necesario destacar que los dos primeros parámetros $|IH - 70|$ y TF, absorben el 69,2 %. De acuerdo con la ecuación se puede inferir que las parcelas con mayor área basimétrica se han encontrado en aquellas comarcas donde el índice hídrico anual se separa de los valores intermedios del hábitat óptimo, y sobre suelos en los que la proporción de tierra fina es más elevada, es decir, que presentan menor pedregosidad. Por lo que se refiere a las otras dos variables de la ecuación, cabe decir que una cierta preferencia por valores de drenaje calculado próximos a 400 mm y la existencia de altas precipitaciones invernales mejoran el ajuste de las dos principales variables seleccionadas en el análisis.

Índice de Hart por número de cepas

De los 34 parámetros abióticos analizados bivariadamente con el parámetro HARTC, 10 de ellos alcanzaron valores en el índice de correlación con un nivel de significación superior al 90 %. De ellos los dos más altos correspondieron a los porcentajes de limo (LIM) y de arena (ARE), con +0,483 y -0,478, respectivamente. De ellos se deduce que las mayores espesuras, expresadas por valores del índice HARTC, se presentan en los hayedos con suelos poco limosos y más bien arenosos, es decir, suelos sobre litofacies silíceas.

Del análisis de regresión múltiple paso a paso se obtiene la siguiente ecuación de pronóstico:

$$HARTC = 31,768 + 0,264 LIM - 0,066 |PT - 1200| + 0,076 |ETRM - 625|$$

Al contrario de la ecuación del área basimétrica, esta ecuación absorbe un reducido porcentaje de la variabilidad (49,9 %) lo que pone en evidencia que la espesura de las masas de hayedo depende en muy escasa medida de las características abióticas estacionales y en muy alto grado de la influencia antrópica. Con todo ello, se puede afirmar que los valores bajos en el índice de Hart se alcanzan en suelos poco limosos, con precipitaciones alejadas de los 1.200 mm y con evapotranspiraciones máximas posibles próximas a

625 mm anuales. Si observamos que las Precipitaciones Totales oscilan entre 874 y 1444 mm anuales y que ERTM lo hace entre 507 y 701 mm anuales, podemos afirmar que estas dos circunstancias se presentan en condiciones climáticas de lluvias mas bien escasas, pero donde el reparto regular de las precipitaciones hace que la evapotranspiración real máxima posible no sea excesivamente baja.

Tabla 5
Coefficientes de correlación entre los parámetros selvícolas seleccionados y los parámetros ecológicos

Parámetros	INDICADORES SELVÍCOLAS	
	HARTC	REG
[ALT - 750]	0,483 **	-0,354 °
[PP - 240]	0,325 °	-0,550 **
[TMA- 11,5]	0,450 *	-0,504 **
[MAX - 20]	0,435 *	-0,507 **
MIN	0,369 °	-0,534 **
ETP	0,404 *	-0,449 *
DEF	0,497 **	-0,386 *
DSQ	0,456 *	-0,427 *
ISQ	0,561 **	-0,427 *
SF	0,488 **	-0,349 °
PI	-0,344 °	-
PV	-0,457 *	-
PO	-0,403 *	-
PT	-0,474 *	-
SUP	-0,409 *	-
IH	-0,433 *	-
[ARC - 15]	0,339 °	-
MO	-0,322 °	-
[MOS - 2,5]	-0,332 °	-
ETRM	-0,439 *	-
ARE	-	0,475 *
LIM	-	-0,518 **
HE	-	-0,432 *
[CRA - 100]	-	-0,382 *

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

Calidad de Estación

En el análisis de correlación bivariable entre los 34 parámetros abióticos y el parámetro que evalúa la calidad de estación (CAL), el parámetro mas correlacionado es la sequía fisiológica (SF). Esto quiere decir que las mejores calidades de estación se encuentran en estaciones en las que se presenta algo de sequía fisiológica, dado que en la mayor parte de las estaciones de hayedo catalán la sequía fisiológica es casi nula.

En el análisis de regresión paso a paso, se obtuvo la siguiente ecuación de pronóstico de la calidad de estación:

$$\text{CAL} = -12,7161 + 0,2153 \text{ SF} + 1,80249 |\text{CNS} - 13| + \\ + 0,08313 \text{ PV} + 0,27736 |\text{LIM} - 40| - 0,2015 \text{ CA}$$

Esta ecuación absorbe el 72,1 % de la variabilidad total, cifra que permite su aceptación como modelo predictivo de la calidad estacional de los hayedos catalanes. De su observación se deduce que las mejores calidades, dentro del marco del hábitat óptimo del haya en Cataluña, se localizan en las estaciones de valores de sequía fisiológica y de precipitación estival más elevados. Por el contrario, las estaciones de peor calidad se caracterizan por la existencia de suelos con presencia de caliza activa, con texturas con porcentajes de limo próximas al 40 %, y con humus con relación Carbono/Nitrógeno próxima a 13.

La interpretación del significado ecológico de la ecuación de pronóstico se puede concretar en lo siguiente:

- a) Desde el punto de vista climático, las mejores estaciones forestales para el *Fagus sylvatica* en Cataluña, se encuentran en aquellas localidades más cálidas, dentro del ámbito estudiado, y con demanda estival de evapotranspiración elevada de modo que pudiera llegar a provocar sequía fisiológica, si no fuera por que las lluvias de verano se lo impiden. Por el contrario, los hayedos menos productivos son los que presentan muy baja sequía fisiológica, lo cual hace que el pinabete (*Abies alba*) sea un fuerte competidor para el haya.
- b) Desde el punto de vista edáfico, los mejores hayedos se localizan en suelos poco limosos, con poco o nada de caliza activa y con humus mull cálcico o mull oligotrófico/moder. Es decir, sobre calizas más bien arenosas y descarbonatadas o sobre suelos silíceos franco-arenosos con relación carbono/nitrógeno relativamente alta.

CONCLUSIONES

Los hayedos de Cataluña presentan unos suelos que se han formado sobre substratos litológicos muy diversos que varían desde rocas ácidas, tanto ígneas (plutónicas y vulcanitas) como metamórficas (esquistos) como sedimentarias (areniscas), hasta rocas básicas sedimentarias (calizas). En todos ellos las texturas dominantes son las francas, franco-arenosas o franco-limosas.

La capacidad de retención de agua de los suelos es sensiblemente más baja que las de los hayedos de Navarra, debido 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.

A causa del reparto de las precipitaciones, de las fuertes pendientes y de la naturaleza litológica, en los suelos de los hayedos catalanes no abundan los horizontes de acumulación de arcilla, por lo que los suelos se clasifican generalmente como Cambisoles. Los escasos Luvisoles se presentan allí donde el substrato litológico es de naturaleza caliza.

Los suelos de los hayedos catalanes presentan valores de riqueza en materia orgánica similares a los de los hayedos de otras regiones y los humus más abundantes pertenecen al tipo mull forestal o mull cálcico.

Los mejores hayedos desde el punto de vista de su capacidad productiva medida por el índice de calidad de estación se encuentran en aquellas localidades que, aunque sean más cálidas y con una cierta demanda estival de evapotranspiración que llegue a provocar sequía fisiológica, cuentan sin embargo con lluvias de verano suficientemente importantes.

Los suelos poco limosos, con escasa o nula caliza activa, y humus tipo mull cálcico o mull forestal oligotrófico/moder que se desarrollan sobre calizas arenosas y descarbonatadas y/o sobre rocas silíceas franco-arenosas son característicos de las mejores estaciones de hayedo en Cataluña.

Los hayedos con mayor área basimétrica se localizan en aquellas comarcas donde el índice hídrico anual se separa de los valores intermedios del hábitat óptimo, y sobre suelos en los que la proporción de tierra fina es más elevada, es decir, que son menos pedregosos. Los hayedos con mayores espesuras se presentan en las estaciones con suelos poco limosos y más bien arenosos, generalmente procedentes de las litofacies silíceas.

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. Por último, queremos expresar nuestra gratitud a Daniel Graña Domínguez por su ayuda en la elaboración de las figuras del artículo.

SUMMARY

Autoecology of beech woodstands in Catalonia (Spain)

This study was carried out after field sampling and analysis of 24 beechwood stand plots selected by means of a beech distribution area stratification system based on CLATERES Land Classification. At each sampling plot, 3 physiographic, 15 climatic and 18 edaphic parameter values were measured, allowing us to define central and marginal parameter ranges, which were used for drawing landform, climatic and soil habitat diagrams of beech (*Fagus sylvatica* L.) woodstands in Catalonia [N.E. Spain]. Such diagrams show that most of the Catalanian beech stands are located on soils developed from a series of different rocks: igneous, volcanic, metamorphic, and sedimentary, both acid and basic. Soil texture are predominantly loam, sandy loam and silt loam. According to FAO criteria, soils are mainly classified as Cambisols. Although soil water holding capacities are low, there is no significant drought stress. Soil humus forms are *forest mull* and *calcic mull*. Moreover, several silvicultural stand parameters have been calculated: Stand density, Coppice density, Basal area, Age, Site index, Top Height, Hart-Becking indexes and Canopy cover indexes. After their correlation with the ecological ones, it is concluded that the best beechwoods are located on more thermic sites, but under enough summer rainfalls to avoid critical drought stress.

KEY WORDS: *Fagus sylvatica*
Central Habitat
Marginal Habitat
Biotope
Autoecology
Silviculture
Catalonia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUÉ J.L., 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Col. Monografías INIA, n.º 69. MAPA. Madrid.
- AUNÓS A., ELGARRESTA E., DORRONSORO V., 1992. La luz y el sotobosque como factores determinantes en la regeneración natural de un hayedo guipuzcoano En ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol I:247-260.
- BECKER M., 1981. Characterisation climatique de la hetraie. En Tessier du Cros *et al.* (Edit.) *Le Hetre*, 71-77 INRA, Paris.
- BLANCO A., CASTROVIEJO M., FRAILE J.L., GANDULLO J.M., MUÑOZ L.A., SÁNCHEZ 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.
- BUNCE R.G.H., 1992. Some notes on the ecological status of beech in Britain, En ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol II:129 -137.
- COSTA M., MORLA C., SAINZ-OLLERO H., 1998, Los Bosques Ibéricos, una interpretación geobotánica, Edit. Planeta, Barcelona.
- CEBALLOS L., 1966. Mapa forestal de España. Escala 1:400.000. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- CEBALLOS L., RUIZ DE LA TORRE J., 1971. Árboles y arbustos de la España Peninsular. IFIE y ETSIM. Madrid.
- ELENA-ROSSELLÓ R., 1996. Clasificación biogeoclimática de España peninsular y balear. MAPA. Madrid.
- FAO, 1989. Mapa Mundial de Suelos. Leyenda revisada. Roma.
- GAMISANS J., 1992. Les hetraies de Corse. En ELENA-ROSSELLÓ, R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. 111-119.
- 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., FERNÁNDEZ LÓPEZ A., MUÑOZ L., SÁNCHEZ PALOMARES O., SERRADA R., 1991. Estudio ecológico de la Laurisilva Canaria. ICONA, Colección Técnica. Madrid.
- GANDULLO J.M., GONZÁLEZ ALONSO S., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1974. Ecología de los pinares españoles IV. *Pinus radiata* D. Don. Monografías INIA, n.º 13. Madrid.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., GONZÁLEZ ALONSO S., 1983. Estudio ecológico de las tierras altas de Asturias y Cantabria. Monografías INIA, n.º 49. Madrid.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., MUÑOZ L.A., 1998. Una nueva clasificación climática para España. *Ecología*, 12: 67-77.
- GRUBER M., 1992. Les hetraies des Pyrenees, En ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol II:119-129.
- HOLMSGAARD E., 1958. Ring analysis of Danske Skortraer. Det Forstlige Forsøgsvaesen in Danmark 22:1-246.
- HART H.M.F., 1928. Stamtal en dunning: een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en dunning-swijze voor den djati. Veenman & Zonen. Wageningen.
- HERNÁNDEZ BERMEJO J.E., SAINZ OLLERO H., 1978. Ecología de los hayedos meridionales ibéricos: el macizo de Ayllón. Ministerio de Agricultura, Madrid.
- HERNÁNDEZ-FDEZ. DE ROJAS A., MODREGO P., 1992. Descripción Edafológica y dasométrica de los Hayedos de la provincia de Soria. En ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol II:203-212.
- LAUSI D. y PIGNATTI S., 1973. Die Phänologie der europäischen Buchenwälder auf pflanzensoziologischer Grundlage. *Phytocoenologia*, 1 (1), 1-63.
- LE TACON F., 1981, Characterisation edaphique du hetre, En Tessier du Cros *et al.* (Edit.) *Le Hetre*, 77-95 INRA, Paris.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1980. Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. ICONA. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACIÓN, 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-MARTÍNEZ S., 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. 1:400.000. Ser. Técnica ICONA. MAPA. Madrid.

- RÜBEL E., 1932. Introduction to the symposium of beech forests of Europe. Die Büchenwälder Europas. Veröff d. Geob. Inst. Rübel, Zürich, 8:7-10.
- 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.
- SÁNCHEZ PALOMARES O., BLANCO A., 1985. Un modelo de estimación del equivalente de humedad de los suelos. Montes, 4: 26-30
- SÁNCHEZ PALOMARES O., CARRETERO CARRERO M.ª P., ELENA-ROSSELLÓ R., 1992. Caracterización de los hábitats en los hayedos de Navarra. En ELENA ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol II:189-222.
- SÁNCHEZ PALOMARES O., CARRETERO CARRERO M.ª P., 1993. Modelos predictivos ecológicos de la calidad de los Hayedos de Navarra. En SILVA PANDO J. y VEGA ALONSO G. (Edit.), *Actas del Congreso Forestal Español*, Pontevedra. Vol II: 617-622.
- SÁNCHEZ PALOMARES O., SÁNCHEZ SERRANO F., CARRETERO CARRERO M.ª P., 1999. Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular. INIA, col. Fuera de serie, 184 pp.
- SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1984. Métodos estadísticos. CECSA. México DF.
- STOYKO S. 1992. Coenotic structure of climax and polydominant beech forests in Ukraine, their ecological characteristics and preservation En ELENA-ROSSELLÓ R. (Edit.), *Actas del Congreso Internacional del Haya*, Pamplona. Vol II: 57-71.
- SZAFER W., 1932. The beech and the beech forest in Poland. A Die Büchenwälder Europas. Veröff d. Geob. Inst. Rübel, Zürich, 8:168-181.
- TERRADAS J. (Edit.), 1984. *Introducció a l'ecologia del faig al Montseny*. Diputació de Barcelona, Barcelona
- THOMASIUS H. y GÄRTNER H., 1988, Auswertung eines Büchenprovenienzversuches. En MÜNCH (Edit.) *Qualität und Phänologie*. Tagungber. IUFRO Büchensymposium. Zvolen 31-45.
- 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.º 436. Soil Conservation Service, Soil survey staff, U.S. Department of Agriculture, Washington, 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., 1968. Die Vegetation den Erde in Ekophysiologischer Betrachtung. Veb. G. Fisher, Jena.
- WALTER H. & LIETH H., 1960. Klimadiagramm Wetatlas. Veb. Gustav Fischer. Jena.
- WATT A.S. y TANSLEY A.G., 1932. British beech woods. Die Büchenwälder Europas. Veröff d. Geob. Inst. Rübel, Zürich, 8:168-181.