

# Caracterización selvícola de las masas monoespecíficas de pino laricio en Cataluña

Á. Aunós\*, A. Riba y R. Blanco

Dpto. de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. ETSEA. Universitat de Lleida.

## Resumen

En el presente trabajo se ha abordado, a partir de la información suministrada por el Segundo Inventario Forestal Nacional, la caracterización de las masas monoespecíficas de pino laricio en Cataluña (NE de España), formalizándola en una tipología de enfoque silvogenético. Basándose en los resultados obtenidos del análisis factorial realizado sobre variables dasométricas, los catagoremas de la tipología se articularon sobre aspectos concernientes a la distribución diamétrica y espesura del rodal, identificándose nueve tipos. El carácter irregularizado, presente en cinco de ellos aunque con rasgos diferentes, se examinó a través de la distribución de Weibull truncada. La tipología, que se maneja computando tan sólo el nivel de regenerado y los diámetros de los pies inventariables, contempla los distintos estadios evolutivos y permite diagnosticar situaciones comprometidas en cuanto a la persistencia de la masa, bien causadas por deficientes estados de espesura o por falta de regenerado.

**Palabras clave:** *Pinus nigra salzmannii* var. *pyrenaica*, tipología, análisis factorial, distribución diamétrica, estructura irregular.

## Abstract

### Silvicultural characterization of single-species stands of black pine in Catalonia (Spain)

This study presents a silvogenetic typology of single-species stands of *Pinus nigra* in Catalonia (NE of Spain) based on the information supplied by the Second National Forest Inventory. Results of factor analysis applied to dendrometric variables show nine different stand types, identified mainly from variables related to diameter distribution and stand stocking. The character of uneven-aged stands, present in five of the groups though with different features, was analyzed using a truncated Weibull distribution. The typology, which is managed by computing regeneration levels and diametric classes, encompasses different developmental stages and allows the diagnosis of compromised situations in terms of stand persistence caused by low or high stocking.

**Key words:** *Pinus nigra salzmannii* var. *pyrenaica*, typology, factorial analysis, diameter distribution, uneven-aged stand structure.

## Introducción

Las masas de pino laricio de origen natural presentes en Cataluña corresponden a *Pinus nigra* Arn. subesp. *salzmannii* (Dunal) Franco var. *pyrenaica* y se hallan distribuidas principalmente sobre propiedades particulares del Prepirineo y centro de la región, llegando a alcanzar también las estribaciones montañosas del sur de Tarragona (montes públicos de Beceit). Fitosiológi-

camente se asocian en su mayoría a la serie *Buxo-quer-cetum pubescentes sigmetum* y se localizan con preferencia sobre estaciones no frías y de umbría, de sustrato calcáreo, y altitudes entre 500 m y 1.400 m.

La buena calidad de la madera del pino laricio ha propiciado que en el conjunto de España sus masas se hayan gestionado bajo criterios productivos. Para las estructuras regulares, se propugna como tratamiento de regeneración más habitual el aclareo sucesivo con tur-

\* Corresponding author: [aaunos@pvcf.udl.es](mailto:aaunos@pvcf.udl.es)

Received: 20-10-08. Accepted: 03-11-09.

nos de 100-120 años y periodos de regeneración de 20-30 años, y en cuanto a los tratamientos parciales, se dispone de tablas de producción para el Sistema Ibérico, formuladas bajo dos regímenes (moderado y fuerte) de claras (Gómez Loranca, 1996). El temperamento de media sombra de la especie (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979) facilita la conformación de estructuras irregulares, frecuentes en las masas béticas de la variedad *hispanica* (Alejano y Martínez, 1999) y con mayor generalidad en Cataluña.

La gestión tradicional de las masas catalanas está orientada a la extracción periódica de árboles que presentan buenas características para destino de postes principalmente y, en menor medida, de sierra. Las cortas se dirigen así al apeo de ejemplares que, en constitución mórfica y dimensiones, ofrecen aptitudes para esos usos y, con objeto de completar un volumen mínimo que haga rentable el aprovechamiento, se apean también árboles de menor dimensión destinados a la industria de tableros de partículas. Tales cortas diamétricas o de huroneo, combinadas con el temperamento de la especie y su profusa regeneración natural en la zona, propician la conformación de estructuras irregulares (Aunós, 1997) y sensiblemente heterogéneas. El proceso de selección individual negativa (la regeneración procede de la semilla de los peores ejemplares respetados en la corta) puede conllevar, a largo plazo, la degradación en calidad de los productos.

Una de las características funcionales de las estructuras irregulares es que la edad no incide sobre los fenómenos de crecimiento, sino que éste depende estrechamente del nivel luminoso, o sea, de las dimensiones alcanzadas por los árboles (Schütz, 1997). Ello conduce a que, en su formalización, se asuma la correspondencia entre edad, altura y diámetro de los pies (Lanier, 1994; Schütz, 1997), con lo que la edad (desconocida) se sustituye por la noción de tamaño del árbol y más concretamente, a causa de la facilidad de medición, por su diámetro. En la realidad de nuestros montes, más habitual que el estado óptimo de equilibrio (función de densidad de tipo exponencial decreciente representada bajo la conocida forma de jota invertida), es encontrar otras formas estructurales con sus clases de edad y/o categorías diamétricas repartidas a lo largo de un amplio espectro, y por tanto también irregulares, pero con las distribuciones descompensadas y sin que necesariamente sean decrecientes. A éstas, Hawley y Smith (1982) las denominan “masas no uniformes irregulares”.

El resultado de las prácticas selvícolas realizadas en Cataluña, descritas precedentemente, ha conducido a

poblaciones con una marcada heterogeneidad estructural, que las hace a su vez difícilmente homologables a modelos formalizados. Las tipologías de naturaleza silvogenética, además de constituir una eficaz herramienta de apoyo para la toma de decisiones selvícolas, permiten dar respuesta a esa dificultad de formalización de las estructuras con tendencia a la irregularización y han desempeñado asimismo un papel relevante para poder cuestionar las normas de entresaca basadas en la ley de De Liocourt (Bruciamacchie y Turckheim, 2005). Dentro de aquéllas, se acostumbra a distinguir (Baumeister, 2001) entre las analíticas o apriorísticas, en donde los criterios discriminadores se seleccionan en base a objetivos de gestión, y las tipologías estadísticas, en las que la diferenciación de los grupos se fundamenta en rigurosos procesos estadísticos.

En este trabajo se aborda la caracterización de las masas mono-específicas de pino laricio en Cataluña, formalizándola en una tipología mixta (apriorística con base estadística) de enfoque silvogenético que, con ayuda de una clave de determinación dicotómica, sencilla y operativa, permita recoger la variabilidad estructural existente.

## Material y métodos

### Fuente de información

La base de datos utilizada proviene de la información en bruto de las parcelas localizadas en las cuatro provincias catalanas y suministrada por el 2º Inventario Forestal Nacional (IFN2) (ICONA, 1990), el cual fue diseñado sobre un muestreo sistemático de malla cuadrada y a razón de una parcela por km<sup>2</sup>. El motivo para haber adoptado como fuente el IFN2, en lugar del IFN3, obedece a que, como consecuencia de dos grandes incendios forestales, en 1994 y 1998, con 25.000 ha afectadas, los registros de la especie en ese último Inventario se han reducido substancialmente, por lo que, si se utilizara, disminuiría el tamaño de la muestra y la representación de formas estructurales que sólo han desaparecido de modo circunstancial.

De las 1.892 parcelas donde se detectó presencia de pino laricio, se seleccionaron únicamente aquellas que conformaran masas puras y en las que la especie desempeñara un papel relevante en la espesura. La condición de mono-especificidad se satisfizo requiriendo una representación, en porcentaje, igual o superior al 90% del total de los pies mayores (diámetro normal  $\geq 7,5$

cm), tras lo que la muestra se redujo a 604 parcelas. Como el valor mínimo de área basimétrica registrado en las masas de Cataluña donde el pino laricio ocupa, por lo menos, el 70% del área basimétrica y el 40% de la fracción de cabida cubierta, es 9,1 m<sup>2</sup>/ha (Gracia, 2000), se impuso, como segundo criterio de criba para descartar rodales de espesura irrelevante, la condición de que aquella variable presentara un valor igual o superior a 10 m<sup>2</sup>/ha. El cumplimiento simultáneo de ambas exigencias arrojó una cifra final de 361 parcelas como base de análisis para el estudio.

### VARIABLES DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

El diagnóstico acerca de la estructura vertical de la masa se orientó, no sólo sobre la estratificación en alturas de los árboles, sino también sobre las distribuciones diamétricas.

Para la modelización de las distribuciones diamétricas se optó por emplear la función de densidad de Weibull truncada, cuya expresión (Zutter *et al.*, 1986) es:

$$f(d) = \frac{c}{b} \left(\frac{d}{b}\right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{d}{b}\right)^c\right); \quad t \leq d \leq \infty, \quad t > 0, c > 0, b > 0$$

siendo  $d$  el diámetro normal del árbol (cm),  $b$  el parámetro de escala,  $c$  el parámetro de forma y  $t$  el valor de truncamiento (7,5 cm en este estudio); el valor de  $f(d)$  representa la frecuencia relativa, en tanto por uno, de los árboles del rodal que tienen por diámetro el valor  $d$ . Los parámetros  $b$  y  $c$ , que se estimaron maximizando el logaritmo de la función de verosimilitud o función soporte, se pueden asociar, respectivamente, al rango diamétrico y a la forma que adopta la distribución. La familia de curvas es exponencial cuando el parámetro  $c$  toma el valor 1 (forma de jota invertida), y para valores superiores las distribuciones son unimodales. Derivando la función de densidad e igualándola a cero, se obtiene la expresión del valor modal:  $d = b \cdot \left(\frac{c-1}{c}\right)^{\frac{1}{c}}$ , que se incrementa, para cada valor de  $b$ , conforme aumenta  $c$ . No sólo la versatilidad de la función de densidad elegida, sino también los buenos resultados obtenidos en *Pinus nigra* por Palahí *et al.* (2006), avalaban su uso.

A fin de completar la caracterización del rodal, se exploraron también las doce variables que, junto a su interpretación, se exponen en la tabla 1. Sobre la base de esa información, ligeramente modificada tal como se especifica a continuación, se desarrolló un análisis factorial rotando los factores cuando era necesario para su

mejor interpretación, con el procedimiento FACTOR (SAS/STAT, 2000), y cuya finalidad fue destacar lo más relevante para la articulación de la clave tipológica. Los elementos introducidos en dicho análisis fueron todos los de la mencionada tabla, con las dos siguientes salvedades: (i) las alturas y diámetros se redefinieron para que expresaran niveles de estratificación de tamaños de árboles, empleándose como indicadores la diferencia entre los valores de la altura dominante ( $H_d$ ) o del diámetro cuadrático medio ( $d_g$ ) con los valores medios respectivos ( $\bar{H}$  ó  $\bar{d}$ ), y (ii) se incorporaron, una vez estimados, los parámetros de Weibull.

Una vez confeccionada la tipología, se estudió, solamente en los tipos que presentaban mayor grado de irregularidad, la correlación existente entre la altura y diámetro de los árboles-tipo proporcionados por el IFN2.

## Resultados

### Clave de la tipología

En la tabla 2 se muestra la matriz de correlaciones deducida del análisis factorial entre las variables originales y los factores rotados, así como la variabilidad explicada.

El primer factor, que recoge un 27% de la variabilidad, integra el rango diametral, los grupos y la diferencia entre el diámetro cuadrático medio y el diámetro medio aritmético. Todas esas variables se refieren a los diámetros y, en la asunción de que su variabilidad se corresponde también a la de edades, pueden asociarse a aspectos concernientes a la forma principal de masa (regular vs. irregular). El segundo factor, que aporta un 26%, integra el área basimétrica, volumen, densidad e índice de espaciamiento (correlacionados positivamente a excepción de este último), y en menor medida la fracción de cabida cubierta; estos elementos se relacionan estrechamente con la espesura. El tercer y último factor, que explica un 22%, aparece fuertemente relacionado de modo inverso con la estratificación vertical y de modo directo con los parámetros de escala y de forma de la distribución de Weibull truncada, por lo que refleja, en cierta medida, el grado de irregularidad de la masa. Los resultados del análisis aconsejan, por tanto, que los nudos de la tipología se conformen en torno a variables expresivas de la forma principal de masa, la espesura y la mayor o menor irregularidad del rodal.

**Tabla 1.** Descripción de las variables exploradas en la determinación de la tipología

Variables	Descripción
rango percentil 5-95 (cm)	$\Delta_d$ = rango diametral comprendido entre los percentiles 5 y 95, que contiene el 90% de los pies/ha.
grupos	$Gr$ = número de conjuntos de clases diamétricas adyacentes que contienen el 90 % de los pies/ha
área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)	$G = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^p N_i d_i^2$ $N_i$ = densidad de la clase diamétrica $i$ (pies/ha) $d_i$ = marca de la clase diamétrica $i$ (cm)
densidad de regenerado (pies/ha)	$R$ = número de pies de diámetro normal inferior a 75 mm
índice de Hart-Becking (%)	$S = \frac{10.000}{H_o \sqrt{N \cdot 0,933}}$ $H_o$ = altura dominante (m) $N$ = densidad (pies/ha)
densidad (pies/ha)	$N$
fracción de cabida cubierta (%)	$F_{cc} = \frac{\sum_{i=1}^p N_i S_i}{S_t}$ $S_i$ = superficie de proyección de copa para la clase diamétrica $i$ (m <sup>2</sup> ) $S_t$ = superficie total (10.000 m <sup>2</sup> )
altura dominante (m)	$H_o$ = altura del árbol de área basimétrica media entre los 100 pies más gruesos por ha (m)
altura media (m)	$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^p N_i H_i$ $H_i$ = altura media para la clase diamétrica $i$ (m)
diámetro cuadrático medio (cm)	$d_g = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot N}}$
diámetro medio aritmético (cm)	$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^h N_i d_i$ $d_i$ = diámetro normal medio para la clase diamétrica $i$ (cm)
volumen con corteza (m <sup>3</sup> /ha)	$V = \sum_{i=1}^k N_i v_i$ $v_i$ = volumen medio para la clase diamétrica $i$

Tomando como base la distribución de los pies mayores según el rango diametral que ocupan, se han establecido dos grupos que pueden asociarse a las formas principales de masa que se señalan a continuación. Para ello se ha aceptado que, en las masas de pino laricio en Cataluña, un árbol tarda por término medio en torno a 25-30 años para incrementar su diámetro en 7,5 cm (Gracia, 2004).

- a) Masa semirregular: el 90% o más de los pies mayores se distribuyen sobre un rango diametral menor o igual a 15 cm (equivalente a dos clases artificiales de edad); integran este grupo 197 parcelas, en 13 de las cuales el intervalo diametral resultó ser menor o igual a 7,5 cm.
- b) Masa irregular: el 90% o más de los pies mayores

aparecen repartidos a lo largo de un intervalo diametral superior a 15 cm; componen el grupo 164 parcelas.

El segundo nivel de la clave se articuló sobre la espesura en términos de área basimétrica, elegida tanto debido a su facilidad de cálculo como a su sencillez interpretativa. Como valor de referencia, se adoptó la cifra de 20 m<sup>2</sup>/ha (Palahí *et al.*, 2006).

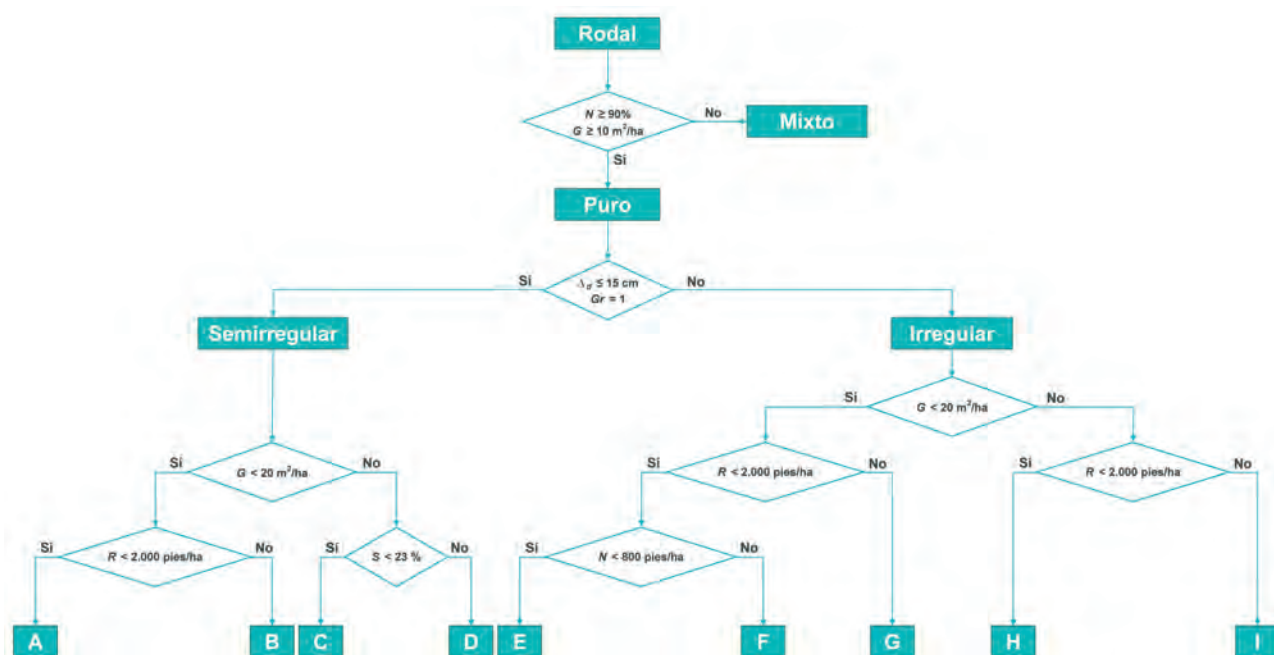
El enfoque silvogenético del que pretende dotarse a la tipología debe incorporar, junto a elementos de dinámica evolutiva de la estructura de la masa, otros aspectos que informen acerca de la necesidad de tratamientos selvícolas. Como indicador del primer punto, y que constituiría el tercer nivel de la clave, se ha adoptado la densidad de regeneración, cuantificada en la cifra de 2.000 pies/ha de árboles de diámetro normal inferior a 7,5 cm (equivalente a las clases naturales de repoblado y de monte bravo hasta alcanzar el diámetro mencionado) que se considera satisfactoria para calificar la regeneración como consolidada (Serrada *et al.*, 1994).

El cuarto nivel de la clave se fundamenta en un enfoque estrictamente funcional, vinculado bien a la conveniencia de aplicar ciertas intervenciones selvícolas particularizadas para cada tipo, o bien al diagnóstico de estados de persistencia comprometidos. Así, en las masas semirregulares espesas se ha escogido el factor

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre las variables originales seleccionadas y los factores rotados extraídos

	I	II	III
$\Delta_d$	<b>0,93</b>	0,11	-0,11
Gr	<b>0,78</b>	-0,19	-0,01
G	0,11	<b>0,95</b>	0,08
R	-0,52	0,04	-0,36
S	0,17	<b>-0,76</b>	0,44
N	-0,55	<b>0,65</b>	-0,19
Fcc	-0,31	0,58	-0,20
Ho- $\bar{H}$	0,31	0,14	<b>-0,76</b>
dg- $\bar{d}$	<b>0,73</b>	0,08	-0,37
V	0,30	<b>0,92</b>	0,09
b	0,51	-0,04	<b>0,79</b>
c	-0,12	-0,06	<b>0,91</b>
% varianza explicada	27	26	22

de espaciamiento de Hart-Becking como referente del grado de espesura, justificado porque el origen de las masas no son repoblaciones, y tomando el valor del 23% (Lanier, 1994) para decidir la necesidad de efectuar tratamientos de dosificación de la competencia intraespecífica. En las masas irregulares, sólo se ha considerado pertinente indagar sobre la situación aparentemente crítica que ofrecen las estructuras de área basimétrica insuficiente ( $G < 20$  m<sup>2</sup>/ha) y regeneración



**Figura 1.** Clave de la tipología de las masas monoespecíficas de pino laricio en Cataluña

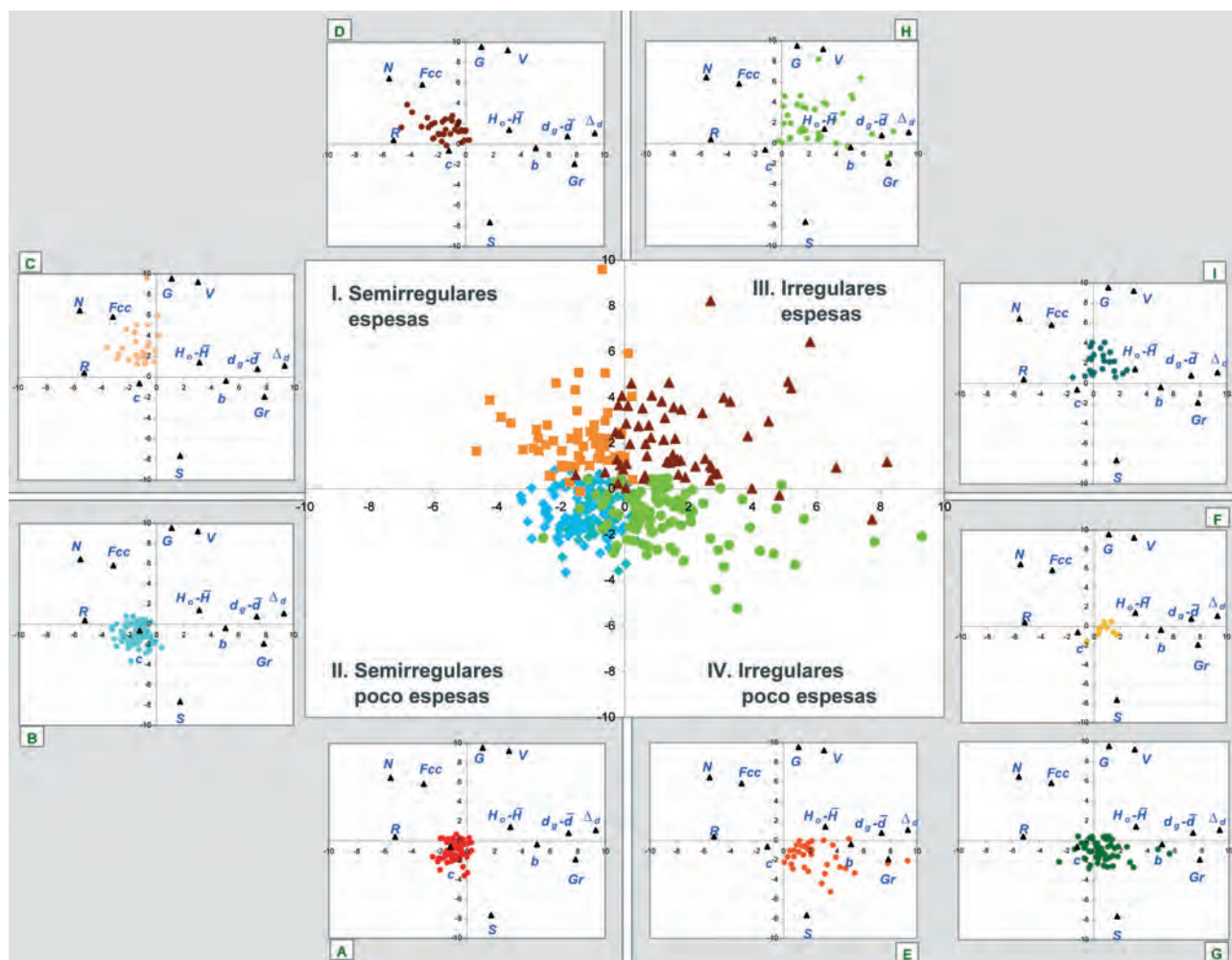


Figura 2. Representación conjunta de las variables y de las puntuaciones factoriales de las parcelas, para los distintos tipos, tomando como eje de abscisas el factor I y de ordenadas el factor II.

escasa, para lo que se ha utilizado la densidad; a tales efectos, se ha cifrado en 800 pies/ha (González, 2008) el umbral de densidad que de no alcanzarse revelaría, en un contexto de regeneración inapreciable, un estado preocupante en cuanto al grado de descapitalización y persistencia de la masa.

Las consideraciones precedentes condujeron a la formalización de la clave dicotómica que se ofrece en la figura 1, donde se especifican los criterios determinativos y fases secuenciales seguidas.

### Caracterización de los tipos de masa identificados

En la figura 2 se muestra el posicionamiento de las variables de análisis y las parcelas, integradas éstas en

sus respectivos tipos, sobre los ejes de abscisas (factor I) y ordenadas (factor II).

Con objeto de facilitar e ilustrar mejor la interpretación pormenorizada de los nueve tipos establecidos, se ofrece en la tabla 3 los valores medios de las variables descriptivas más relevantes de cada uno de ellos. De igual modo, en la figura 3 se reproducen las distribuciones diamétricas de los cinco tipos con formas en mayor o menor grado irregularizadas, una vez estimados los parámetros  $b$  y  $c$  de la función de densidad de Weibull truncada y haber calculado sus medias.

Sobre la familia de formas irregularizadas en las que se estudió la correlación entre las alturas y diámetros de los árboles, se obtuvieron coeficientes de correlación de Pearson que, aunque moderados (a excepción del tipo H ( $r=0,45$ ), comprendidos entre los valores de 0,65 y

**Tabla 3.** Valores medios de las variables descriptivas más relevantes

Tipo	$\Delta_d$ (cm)	$b$ (*)	$c$ (*)	G (m <sup>2</sup> /ha)	R (p/ha)	S (%)	N (p/ha)	Fcc (%)	$d_g$ (cm)	$H_o/\bar{H}$ (m)	V (m <sup>3</sup> /ha)	$d_{min}$ (cm)	$d_{max}$ (cm)
A	12,6 ±2,3	14 ±4,8	3,3 ±1,4	13,8 ±2,8	1.188 ±572	41 ±11	870 ±291	69 ±11	14,5 ±2,6	9,3 ±2,3	64 ±19	9,8 ±2	24 ±3,7
B	12,3 ±2,3	10,6 ±4,6	2,5 ±1,3	14,3 ±3	3.234 ±1.030	38 ±10	1.121 ±403	70 ±11	12,9 ±2,2	8,9 ±1,8	60 ±17	8,5 ±1,8	23,3 ±4,7
C	13,2 ±1,7	11,3 ±2,7	2,4 ±0,8	29,6 ±8,4	2.588 ±1.591	20 ±2	2.187 ±629	80 ±8	12,8 ±1,2	11,4 ±1,6	153 ±51	7,6 ±0,5	23,9 ±3,5
D	12,4 ±2,4	12,9 ±4,1	3,1 ±1,3	24,5 ±3,7	2.696 ±1.833	29 ±5	1.698 ±657	79 ±9	13,7 ±2,3	9,3 ±2	111 ±22	8,6 ±1,6	25,6 ±7,7
E	22,2 ±5,7	20,4 ±9,8	2,7 ±1,4	13,8 ±2,6	615 ±595	50 ±20	460 ±217	59 ±18	21,6 ±6,9	8,7 ±1,9	74 ±22	12,2 ±5,8	38,6 ±14,2
F	17 ±2,4	8,8 ±5,4	1,6 ±0,9	16,7 ±2,3	948 ±355	31 ±6	1.008 ±160	69 ±10	14,3 ±0,9	7,2 ±0,8	84 ±13	7,5 ±0	27,5 ±3,8
G	18,7 ±3,5	14,4 ±7,2	2,4 ±1,2	13,7 ±2,8	2.895 ±861	38 ±10	662 ±273	73 ±8	16,9 ±3,5	8,5 ±2	72 ±20	9,6 ±2,6	30,5 ±6,6
H	26,5 ±6,6	21,5 ±6,6	2,6 ±1,3	30,2 ±9	772 ±669	30 ±10	804 ±360	72 ±13	22,7 ±4,9	10,3 ±2,5	180 ±63	10,8 ±3,5	43,5 ±11,7
I	20 ±3,1	12,7 ±6,8	2 ±1,1	24,8 ±4,8	2.456 ±1.575	25 ±6	1.186 ±360	79 ±9	16,5 ±3	9,4 ±1,9	142 ±38	8,5 ±2,4	34 ±6,5

(\*)  $b$  y  $c$  son los parámetros estimados de escala y de forma de la distribución de Weibull truncada. En la columna  $H_o/\bar{H}$  figuran alternativamente los valores de  $H_o$  (sólo de los tipos semiregulares: A, B, C, D) o de  $\bar{H}$  (sólo de las formas irregulares: E, F, G, H, I). Los valores promedio aparecen acompañados de su desviación típica

0,75), señalan, en cualquier caso, una correspondencia inequívoca entre ambas variables.

El mayor o menor grado de irregularidad se analizó, para cada uno de los elementos más correlacionados con el factor III, mediante una prueba F, comparando *a posteriori* los valores medios entre los cinco tipos irregularizados. En la tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de comparación, de la que se deduce que, mientras la variable diferencia  $H_o - \bar{H}$  no distingue el grado de irregularidad de los tipos, se establece una jerarquización de éstos, clasificándolos de forma similar en cuanto a los parámetros de Weibull.

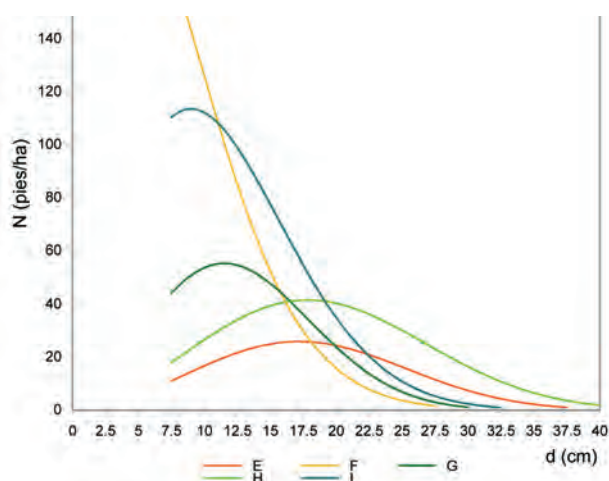
En la figura 4 se muestra la distribución geográfica de los nueve tipos, con las parcelas del IFN2 superpuestas sobre la división comarcal de Cataluña. Se observa cómo el pino laricio, con anterioridad a los incendios de 1994 y 1998, se localizaba de modo mayoritario en la zona central, resaltando el relevante peso de la comarca del Solsonés con el 34% de las parcelas y que, junta-

mente con la limítrofe del Berguedà, registraban más de la mitad de la superficie total. Por lo que respecta a la estructura vertical de la masa, reseñar que los 2/3 de la superficie que ocupaban las formas semirregulares se localizaba en esas dos comarcas, y que la práctica totalidad de los bosques de los Ports de Beceit se presentan bajo formas irregularizadas con escasa presencia de regeneración y de las clases diamétricas más jóvenes (tipos E y H).

## Discusión

### Valoración de la tipología presentada

Sorprende, en primera instancia, el reducido número de parcelas (13 frente a un total de 361) que se han identificado como regulares en sentido estricto ( $\geq 90\%$  de los pies mayores integrados en un rango diametral  $\leq 7,5$



**Figura 3.** Perfil de las distribuciones diamétricas, trazado con los promedios de los parámetros estimados de la función de densidad de Weibull truncada, de cada uno de los tipos que presentan formas irregularizadas en mayor o menor grado.

cm). Al margen de las repoblaciones, que han sido casi testimoniales en el ámbito catalán, y prescindiendo de la regeneración natural tras el paso del fuego, que en esta especie es muy dificultosa o casi inexistente (Escudero *et al.*, 1997), subsiste otro origen de conformación de este tipo de estructuras, cual es la colonización de tierras agrarias abandonadas. Siendo notorio que ese proceso se ha producido de modo notable en Cataluña, puede apuntarse como causas de la escasa presencia actual de rodales regulares las siguientes:

- a. Una secuencia de regeneración paulatina y difusa en el marco de una recolonización general de terrenos agrícolas abandonados (Meya *et al.*, 2001).
- b. La pérdida precoz de la estructura primigenia regular en favor de una irregularización promovida por el hombre con finalidades productivas.

En los gráficos de la figura 2 se observa cómo los cuatro primeros tipos (que corresponden a las masas semirregulares), debido a presentar un rango diametral pequeño, se ubican sobre las zonas negativas del primer factor; asimismo se diferencian por pares en cuanto a su espesura, expresada ésta en la localización, bien sea por debajo del eje del segundo factor (masas poco espesas de los tipos A y B) o bien por encima (C y D). Los cinco restantes tipos (masas irregularizadas), al presentar mayor amplitud diametral, se posicionan mayoritariamente en la parte positiva del primer factor; de igual modo, se sitúan por encima o debajo del eje del segun-

**Tabla 4.** Comparación de los valores medios de las variables que mejor definen el factor III, según los tipos selvícolas irregularizados

Tipo	Variables más correlacionadas con el Factor III		
	<i>b</i> de Weibull	<i>c</i> de Weibull	$H_0 - \bar{H}$
H	21,53 a	2,60 a	3,24 a
E	20,36 a	2,68 a	2,74 a
G	14,42 b	2,35 a	3,07 a
I	12,74 bc	1,97 ab	3,42 a
F	8,78 c	1,57 b	3,56 a

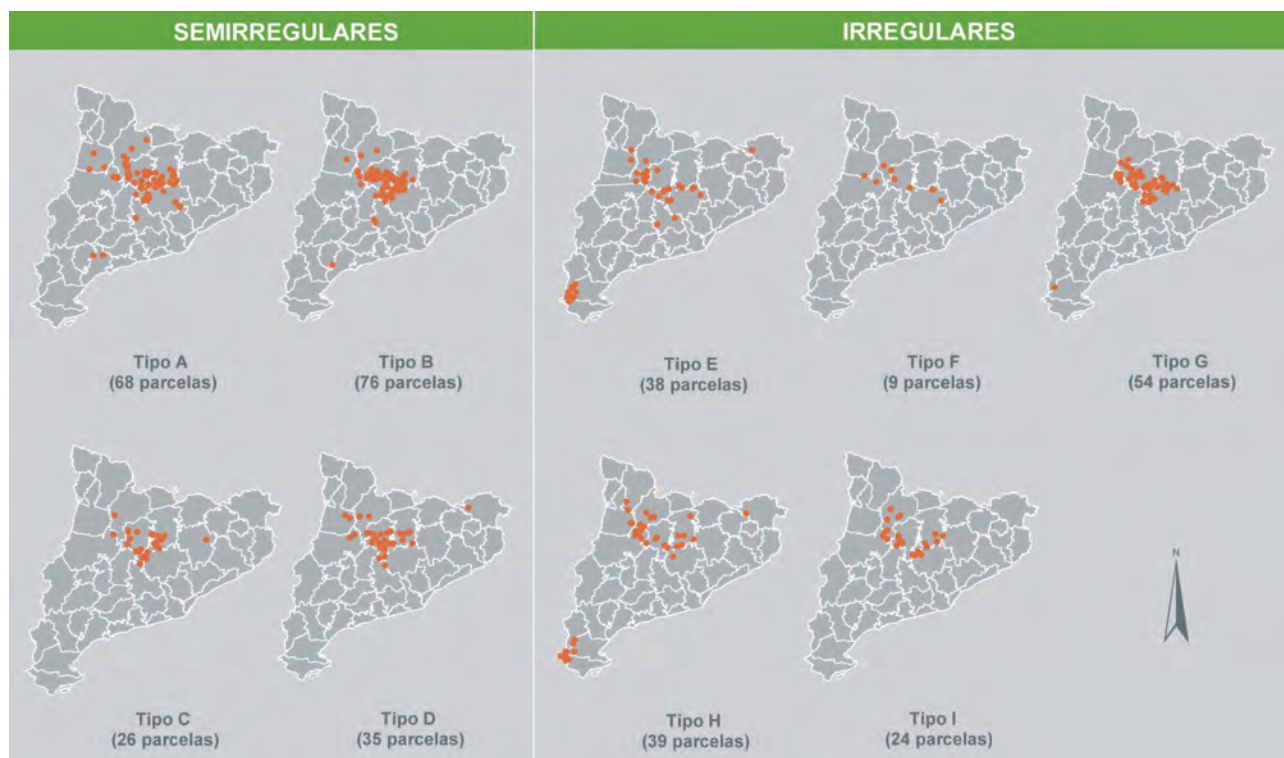
Los valores medios dentro de cada fila, seguidos de letras distintas, son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) con la prueba de Duncan.

do factor en función de su nivel de espesura. El diagrama situado en la parte central de la figura incorpora la totalidad de las parcelas, constatándose la delimitación de cuatro grupos definidos en base a los niveles de corte adoptados en las etapas 1 y 2 de la clave.

Los valores obtenidos de la correlación entre alturas y diámetros, que se consideran aceptables teniendo en cuenta que proceden de árboles-tipo y no de pies dominantes y codominantes, permiten, de una parte, otorgar un mayor fundamento a la presunción de que la variabilidad diamétrica proviene más de la diferencia de edades que no de la competencia intraespecífica, y de otra parte, avalan el enfoque de las distribuciones diamétricas para caracterizar formas irregularizadas, tal como reflejan otras tipologías (Chollet *et al.*, 2000; Aunós *et al.*, 2007).

En referencia ya sólo a las estructuras irregularizadas, el análisis de separación de medias realizado sobre el factor III (tabla 4), compuesto por los parámetros *b* y *c* de la distribución diamétrica, y la variable  $H_0 - \bar{H}$ , permite identificar diferentes estados de la masa. Para ello, la interpretación que se formula es que mayores valores de *b* aportan un componente de irregularidad ligado al recorrido de la distribución diamétrica e independiente de la forma que ésta presente; los tipos E y H, con una distribución más dispersa que el resto, ejemplarizan ese aspecto. Y mayores valores de *c* se corresponden con un mayor desplazamiento del valor modal hacia la derecha, originando, en consecuencia, formas cada vez más alejadas de la jota invertida; así, los tipos E, H, y G presentan en ese sentido, un menor grado de irregularidad frente al F. El parámetro *c* destaca, además, el carácter desequilibrado que presentan las masas estudiadas, puesto que, ni siquiera las más compensadas en el reparto de diámetros (F y I), llegan a alcanzar el valor 1 característico de la forma de la jota invertida.





**Figura 4.** Ubicación geográfica de las parcelas, agrupadas según los tipos, en Cataluña

Asociando la amplitud diamétrica de 7,5 cm a la edad de 25-30 años (Gracia, 2004), se advierte que los cuatro tipos más regularizados se sitúan por término medio entre las calidades IV y V (de las cinco posibles) de las curvas construidas para la variedad *hispanica* del pino laricio correspondiente al Sistema Ibérico (Gómez Loranca, 1996). Admitiendo que las condiciones climáticas y edáficas en que se desarrolla la especie en Cataluña no son peores que las del Sistema Ibérico, su menor crecimiento debe atribuirse a los efectos perniciosos del huroneo. En ese sentido, Meya *et al.* (2001) también constatan que mientras los individuos jóvenes de la masa se distribuyen más o menos homogéneamente entre esas cinco clases de calidad, los que permanecen con más de 60-70 años de edad encajan sólo en las peores calidades.

Finalmente queda por subrayar que, con las limitaciones impuestas referentes al carácter de monoespecificidad y espesura suficientes de la masa, la superficie que cubre el pino laricio es de 36.100 ha, muy alejada de las 131.600 ha que aparecen en los registros oficiales del IFN2 para la especie.

En otro orden de cosas, comparando esta tipología con la correspondiente al abeto (Aunós *et al.*, 2007),

donde el carácter de irregularidad se presenta de modo general en los nueve tipos identificados, se detectan ciertas diferencias. De una parte, el enfoque de los abetares contempla el papel relevante de las especies acompañantes, y de otra parte, sus masas ofrecen distribuciones más equilibradas y de mayor rango diamétrico, por lo cual su caracterización se fundamentó en los estadísticos de la distribución, mientras que en el laricio, a causa de su carácter más heterogéneo, se ha empleado la distribución de Weibull.

### Descripción silvogenética de los tipos propuestos

*Tipo A:* Masa semirregular de baja espesura y regeneración deficiente

*Tipo B:* Masa semirregular de baja espesura y regeneración satisfactoria

Estos dos tipos singularizan una fase incipiente ( $d_{\max} \leq 24$  cm de los individuos mayores) y un tanto precaria (escasa espesura en términos de G, S, N, Fcc y V), de un proceso colonizador del pino, bien sobre terrenos desarbolados o bien tras cortas abusivas, pero con el

acento diferenciador entre ellos puesto en el grado de regeneración alcanzado.

Así en el B, caracterizado de regeneración suficiente, dicha dinámica se ha generado de modo continuo y progresivo, y aparenta por tanto hallarse afianzada. Por el contrario el tipo A, con espesura todavía defectiva al igual que el anterior, apuntaría a un proceso de colonización interrumpido y que revelaría una situación comprometida en cuanto a la persistencia de la masa (regeneración insuficiente a pesar del grado de apertura del dosel arbóreo) en un contexto de espesura deficiente.

Con carácter general, la dificultad de instalación del regenerado en situaciones de espesura defectiva, detectada no sólo en los casos anteriores sino extensiva también a los tipos E y F, obedece más a la fuerte competencia que establecen especies arbustivas (principalmente *Buxus sempervirens*), que a otros factores como la falta de viabilidad de la semilla, depredación por parte de fauna salvaje o doméstica, etc. En este sentido, la actuación más efectiva son los desbroces selectivos de baja intensidad, contemplando la repoblación sólo como último recurso a causa de su elevado coste.

La evolución positiva de ambos tipos (en el caso A con ayuda de desbroces) conducirá, a causa de la lentitud del proceso de consolidación de la masa, hacia formas irregularizadas.

*Tipo C: Masa semirregular de espesura excesiva*

*Tipo D: Masa semirregular de espesura aceptable*

Son pinares que sólo se diferencian en su grado de espesura, evaluado éste en términos del factor de espaciado de Hart-Becking (S). La cifra del 23% constituiría el umbral para deslindar los rodales necesitados de intervenciones dosificadoras de la competencia intraespecífica (tipo C), de aquellos otros en los que se puede prescindir de los mencionados tratamientos por presentar aún valores de S superiores al 23% (tipo D).

Cabe subrayar la notable regeneración que se registra en un contexto marcado por la apreciable espesura actual de la masa, tanto en términos de área basimétrica y densidad, como también incluso de fracción de cubierta ( $F_{cc} \geq 79\%$ ). Ello avala el temperamento de media sombra de la stirpe y su capacidad de tolerancia, por lo menos en edades tempranas, a niveles reducidos de luminosidad.

Ambas estructuras son semejantes, en su génesis evolutiva, a los tipos A y B anteriores, sugiriendo todos ellos una colonización no muy alejada en el tiempo,

bien sobre tierras desarboladas, o bien como resultado de cortas abusivas sobre los pies de mayor tamaño ( $d_{max} \leq 25,6$  cm). La diferencia estriba en que en los tipos C y D ese proceso se ha producido de modo más contundente y rápido, conduciendo a estructuras que pueden gestionarse: (i) como regulares o semirregulares, si el estadio de la regeneración no alumbra una nueva clase artificial de edad, y siguiendo entonces los diversos modelos de selvicultura a la carta desarrollados por González *et al.* (1999), o (ii) irregulares, en caso contrario. En este sentido se deberá reconsiderar la conveniencia de mantener durante más tiempo la espesura fuertemente cerrada ( $S < 23\%$ ) para interrumpir la incorporación del regenerado y quedarse así con sólo dos clases de edad (estado i).

*Tipo E: Masa irregular desequilibrada de espesura defectiva y regeneración escasa*

*Tipo F: Masa irregular de espesura baja y escaso regenerado*

*Tipo G: Masa irregular de espesura baja y suficiente regenerado*

Constituyen una familia de estructuras que presentan rasgos de descapitalización en existencias volumétricas ( $V \leq 84$  m<sup>3</sup>/ha) y son, en ese sentido, similares a las A y B, con un área basimétrica que en ninguno de los cinco casos llega a alcanzar los 17 m<sup>2</sup>/ha.

Los rodales del tipo E muestran un déficit muy acusado de densidad, en especial de pies de las clases diamétricas más jóvenes, así como también de regeneración, hasta el punto de comprometer severamente su persistencia. Resultan análogos en su problemática a los del tipo A, con la salvedad de presentar un reparto de diámetros amplio (masa irregularizada), que se extiende hasta valores de  $d_{max} = 38,6$  cm, y que configuran unas distribuciones diamétricas sumamente descompensadas y alejadas de la forma óptima de jota invertida. Las prescripciones selvícolas deben orientarse en la misma línea que el A, con tratamientos de desbroces selectivos que propicien la instalación del regenerado y, que de lograrse, permitirá que evolucionen hacia formas semejantes a las del tipo G.

Los rodales del tipo F, aunque análogos a los anteriores en los valores de área basimétrica y regeneración, presentan sin embargo una mayor abundancia de pies de las clases diamétricas pequeñas, conformando por ello distribuciones de densidad bastante equilibradas. Constituyen una progresión de los del tipo B pero con la

regeneración interrumpida, por lo que si se ayuda a su incorporación mediante desbroces evolucionarán gradualmente hacia el tipo I, o incluso hacia formas todavía más próximas a la jota invertida; en caso contrario, pueden gestionarse como forma regularizada asimilable a los tipos D o C.

El tipo G supone, en el contexto de masas irregulares descapitalizadas, una situación intermedia entre los dos anteriores, pero con una regeneración suficiente que no hace temer por su persistencia. Representa asimismo una fase posterior al tipo B, con una distribución de densidades deficitaria en todas sus categorías y que es el resultado de las cortas por huroneo que impiden la capitalización deseable de la masa. La prescripción selvícola aconseja la interrupción y moratoria de los aprovechamientos a efectos de permitir la configuración de una estructura más equilibrada y capitalizada análoga al tipo I.

Los tipos F y G se corresponden a lo que González (2000) identifica como “masa irregular descapitalizada con sólo 3-5 clases diamétricas y claro predominio de la primera y/o segunda” y para los que propone pautas a seguir a fin de obtener la estructura irregular en equilibrio.

*Tipo H: Masa irregular espesa con tendencia a la regularización*

*Tipo I: Masa irregular aceptablemente equilibrada*

Integran una familia de estructuras que, frente a los tres tipos anteriores, ofrecen unas existencias volumétricas notables ( $V \geq 142 \text{ m}^3/\text{ha}$ ).

En el tipo H, los pies, a pesar de encontrarse distribuidos a lo largo de un amplio rango diametral, se concentran mayoritariamente en las clases diamétricas superiores ( $d_{\text{max}}=43,5 \text{ cm}$ ), derivándose de ello una función de densidad de forma aplanada. Representa el tipo más capitalizado en existencias volumétricas de todos ( $V=180 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) y en ese sentido se homologa a la situación de tendencia a la uniformidad y regularización de estructuras irregulares de otras especies como el abeto (Aunós y Blanco, 2006), aunque con niveles diferentes. El conjunto de otros caracteres complementarios (valores elevados de área basimétrica y de diámetro cuadrático medio) revela que se trata de masas donde la fuerte espesura limita de modo considerable la instalación del regenerado (Serrada *et al.*, 1994) y el desarrollo de los pies más jóvenes. Las opciones de gestión selvícola pueden ser: (i) transformar la masa hacia formas semi-regularas asimilables a los tipos C o D, eliminando gra-

dualmente los pies de las clases inferiores; o (ii) potenciar la incorporación del regenerado mediante la apertura de huecos y tender así hacia formas irregulares más equilibradas como las del tipo siguiente.

El tipo I tiene una distribución de densidad aceptablemente compensada, diferenciándose del tipo anterior en que, a causa de su menor grado de capitalización, las clases diamétricas inferiores están más abundantemente representadas que las superiores, conformando así unas distribuciones más próximas a la irregularidad óptima. Su gestión selvícola debe orientarse en potenciar la estructura equilibrada, adaptándose a alguno de los modelos propuestos por González (2008).

## Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud al Dr. Marc Palahí (Coordinador Internacional del Centre Tecnològic Forestal de Catalunya) por habernos facilitado el programa para la estimación de los parámetros de la distribución de Weibull truncada.

## Referencias bibliográficas

- ALEJANO R., MARTÍNEZ E., 1999. Síntesis de situaciones ecológicas diferenciadoras del temperamento de *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* en el núcleo de Sierras de Cazorla y Segura. Montes 58, 17-24.
- AUNÓS A., 1997. Gestió actual i alternatives en les masses de pinassa del Solsonès. Silvicultura 16, 8-9.
- AUNÓS A., BLANCO R., 2006. Caracterización de rodales irregulares de *Abies alba* Mill. capitalizados en existencias del Valle de Arán (Pirineos, España) y de las cortas de entresaca practicadas. Invest Agrar: Sist Recur For 15, (1), 96-106.
- AUNÓS A., MARTÍNEZ E., BLANCO R., 2007. Tipología selvícola para los abetales españoles de *Abies alba* Mill. Invest Agrar: Sist Recur For 16 (1), 52-64.
- BAUMEISTER M., 2001. Des premières classifications aux typologies actuelles: une approche historique des typologies des peuplements. En: Typologies des peuplements. ENGREF, Nancy, 151-172.
- BRUCIAMACCHIE M, TURCKHEIM de B., 2005. Théorie et pratique de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature. ÉDISUD, Aix-en-Provence, 288 p.
- CEBALLOS L., RUIZ DE LA TORRE J., 1979. Árboles y arbustos. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 512 p.

- CHOLLET F., DESPLANCHES PH., KUUS L., DE MEERLEER, P., 2000. La typologie des sapinières pyrénéennes. Rev. For. Fr. LII (4), 325-336.
- ESCUADERO A., BARRERO S., PITA JM., 1997. Effects of high temperatures and ash on seed germination of two Iberian pines (*Pinus nigra* ssp. *salzmannii*, *Pinus sylvestris* var. *iberica*). Annales des Sciences Forestières 54 (6), 553-562.
- GÓMEZ LORANCA J.A., 1996. *Pinus nigra* Arn. en el Sistema Ibérico: tablas de crecimiento y producción. Monografías INIA, 93, 106 p.
- GONZÁLEZ J.M.<sup>a</sup>, MEYA D., ARRUFAT D., 1999. Primeras tablas de silvicultura a la carta para masas regulares de *Pinus nigra* Arn. del Prepirineo catalán. Invest Agrar: Sist Recur For 8(1), 49-61.
- GONZÁLEZ J.M.<sup>a</sup>, 2000. Modelos de transformación de masa regular a irregular. Invest Agrar: Sist Recur For 9 (2), 237-252.
- GONZÁLEZ J.M., 2008. Silvicultura de las masas pirenaicas de *Pinus nigra* Arn. En: Compendio de Silvicultura Aplicada en España (Serrada R., Montero G., Reque J., eds). INIA, Madrid. pp. 314-329.
- GRACIA, C., 2000. Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal IV. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Barcelona, 108 p.
- GRACIA, C., 2004. Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Catalunya. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Barcelona, 184 p.
- HAWLEY R.C., SMITH D.M., 1982. Silvicultura práctica. OMEGA, Barcelona, 544 p.
- ICONA, 1990. Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. ICONA, Madrid.
- LANIER L., 1994. Précis de sylviculture. ENGREF, Paris, 477 p.
- MEYA D., GONZÁLEZ J.M.<sup>a</sup>, AUNÓS A., 2001. Evolución del crecimiento radial en un rodal adulto de *Pinus nigra* Arn. de la provincia de Lleida. Invest Agrar: Sist Recur For 10, 95110.
- PALAHÍ M., PUKKALA T., TRASOBARES A., 2006. Modelling the diameter distribution of *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* and *Pinus halepensis* forest stands in Catalonia using the truncated Weibull function. Forestry 79 (5), 553-562.
- SAS/STAT, 2000. User's Guide. SAS Institute, Cary, NC.
- SERRADA R., DOMÍNGUEZ LERENA S., SÁNCHEZ RESCO M.I., RUIZ ORTIZ J., 1994. El problema de la regeneración natural de *Pinus nigra* Arn. Montes 36 (2), 52-57.
- SCHÜTZ J. PH., 1997. Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 178 p.
- ZUTTER B.R., ODERWALD R.G., MURPHY P.A., FARRAR R.M., 1986. Characterizing diameter distributions with modified data types and forms of the Weibull distribution. For Sci 32 (1), 37-48.