Caracterización selvícola de masas forestales mediante el Inventario Forestal Nacional

C. del Peso;
A. Sanitjas;
J.A. Monreal;
B. Guerra; D. Villada;
J.A. Reque;
M. Dominguez ;
C. Prieto; e I. Ruiz

Capítulo 5

INTRODUCCIÓN

La base de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) en España ha tenido como objetivo proporcionar información actualizada de los montes, así como también coadyuvar en la planificación y gestión de los recursos forestales al permitir el cálculo de existencias y composición específica de una región geográfica en particular.

A través del programa informático BASIFOR (Río *et al.*, 2001a), el análisis de la base de datos es sencillo. La información del IFN2 (Icona, 1990) permite realizar trabajos de caracterización selvícola en las masas forestales españolas de diversas especies, cuyos resultados sirven para conocer la situación actual de estos montes, facilitando la planificación de las intervenciones futuras en una adecuada gestión forestal.

El objetivo de esta caracterización selvícola es conocer la estructura y desarrollo de las masas forestales en un área geográfica determinada. A través de una adecuada caracterización se puede comparar el comportamiento de la especie en diversos sitios en función de su calidad de estación, o comparar el desarrollo de diversas especies en el mismo lugar y analizar el desarrollo a lo largo del tiempo de una

masa forestal en particular. Los datos del IFN son especialmente útiles para una primera aproximación, para estudios a escala comarcal o provincial y cuando no se disponen de otros datos mejores.

Los estudios de caracterización en curso que se están llevando a cabo dentro del grupo de investigación sobre gestión forestal sostenible del Departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura (E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid) comprenden las principales especies forestales españolas: *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* Arn.; *Pinus pinaster* Aiton *ssp. mesogeensis*, *Pinus pinea* L., *Pinus halepensis* Mill, *Quercus faginea* Lam., *Quercus ilex* L., *Quercus pyrenaica* Willd., *Quercus suber* L., *Fagus sylvatica* L. y *Populus tremula* L. entre otras. En el presente capítulo se exponen algunos de los resultados de estos trabajos con el fin de ilustrar el potencial de la base de datos del IFN2 y del programa informático BASIFOR para realizar caracterizaciones selvícolas.

Dentro de la caracterización de las masas forestales, los datos del IFN2 y la herramienta informática BASIFOR permiten:

- Definir la estructura de las masas de estudio.
- Caracterizar las masas a partir de sus variables dasométricas básicas.
- Elaborar las principales relaciones dendrométricas.
- Definir unas pautas básicas de manejo a partir de la elaboración de normas selvícolas sencillas.
- Estimar la producción de productos maderables y no maderables
- Realizar análisis sencillos de diversidad estructural

Toda esta información analizada se presenta como herramienta básica a partir de la cual elaborar una correcta planificación comarcal o regional así como una base informática muy interesante, para la gestión forestal.

DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LAS MASAS DE ESTUDIO

Introducción

Los datos del IFN2 y BASIFOR permiten el análisis de la estructura de las masas, siendo posible definir el grado de mezcla de las distintas especies que componen las masas de estudio (obteniendo información sobres las especies principales y sobre las especies secundarias). Así mismo, una visión a la distribución del tamaño de los árboles dentro de las parcelas del inventario, generalmente el diámetro normal, permitirá completar la información sobre la estructura del rodal, apuntando la posible dinámica de la masa forestal.

Objetivos y metodología propuesta

A partir de la selección de los datos del IFN2 en un área de estudio, para una especie determinada, podemos conocer la presencia de la misma así como el grado de mezcla con otras especies forestales. Un conocimiento pormenorizado de cada parcela nos permite así mismo avanzar en el conocimiento de la forma principal de masa.

La metodología a seguir es la siguiente:

1) Seleccionar la especie y el área de estudio (mediante el conocimiento de las UTM correspondientes).
2) Obtener datos relativos a la dominancia de las especies (especie dominante: aquella que aporta más del 50%

del área basimétrica total de la parcela).

3) Definir el tipo de masa con el que se trabaja (MADRIGAL, 1994):
   - Masas monoespecíficas: aquellas masas con más del 90% de pies de una sola especie.
   - Masas mixtas: aquellas masas que presenten distintas especies no superando ninguna de ellas el 90% de pies.
4) Obtener gráficos de número de pies por clase diamétrica para cada parcela de estudio.
5) Realizar un análisis de los mismos que permita la clasificación de las masas de estudio en una sencilla tipología de masas (masas regulares jóvenes, masas regulares jóvenes con pies residuales de gran tamaño, masas irregulares, etc.).

Se ilustran estas posibilidades con los siguientes ejemplos:

- Caracterización de las masas de *Populus tremula* en Pirineos
- Caracterización de las masas de *Quercus suber* en Cataluña
- Caracterización de las masas de *Pinus pinaster* ssp. *mesogeensis* en toda España.

Resultados y discusión

• *Masas de álamo temblón en Pirineos*

Las masas de *Populus tremula* del Pirineo analizadas a partir de las 138 parcelas existentes con presencia de esta especie (Figura 1), se pueden clasificar en distintos grupos según la composición específica de los pies mayores que forman las parcelas. En el presente estudio se estable como especie dominante cuando aparece con más del 50 % de total de área basimétrica de la parcela del IFN2. Así se definieron tres tipos de masas:

- **Masas con dominancia de *Populus tremula*:** representan un 24,64% del total de parcelas donde aparece la especie. Se corresponde a masas monoespecíficas básicamente debidas al carácter pionero y heliófilo de la especie, reforzado por su particularidad de reproducirse fundamentalmente por rebrote.
- **Masas donde *Populus tremula* acompaña a formaciones boscosas concretas**: hayedos, encinares, robledales y pinares de silvestre. En su conjunto supone un 47,09%. Si bien el temperamento de la especie es intolerante, su capacidad de rebrote facilita la persistencia en rodales dominados por otras especies (WORRELL, 1995).
- **Masas mixtas ligadas a cierta humedad edáfica:** *Populus tremula* aparece acompañando a otras especies freatófitas o especies con mayores necesidades de agua como son otros álamos, olmos, fresnos, alisos, sauces e incluso avellanos, castaños, abedules o arces. Representa en su conjunto algo más del 15%.

Un análisis más pormenorizado de los datos de la parcela permite obtener información de la estructura, así como de la posible dinámica de esa masa forestal concreta. La Figura 2 representa la distribución diamétrica de una parcela concreta del IFN2, y se aprecia una distribución bimodal que se puede atribuir a la convivencia de dos cohortes, fruto de dos perturbaciones distintas, mientras que la Figura 3 (donde se aprecian los mismos datos relativos a otra parcela) representaría el típico rodal regular joven recién instalado. Esta típica estructura pionera está ligada en esta especie a la facilidad de rebrote de raíz.

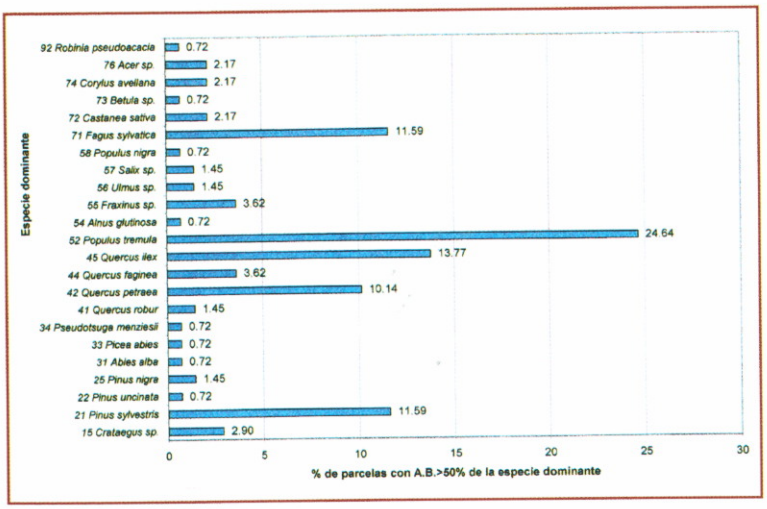

Figura 1. Especie dominante en las parcelas del IFN2 donde aparece Populus tremula. Área de estudio: Pirineos

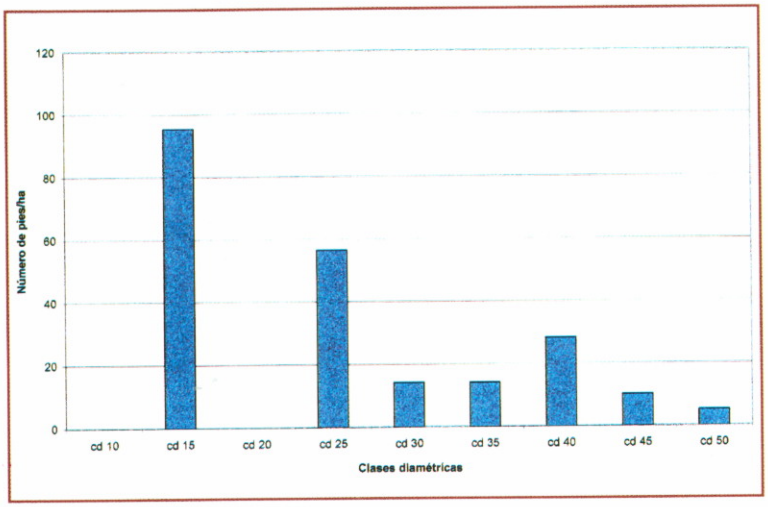

Figura 2. Distribución diamétrica de una parcela del IFN2 de Populus tremula. Área de estudio: Pirineos

• *Masas alcornocales catalanas*

En la Figura 4 se recoge la dominancia de especies para las parcelas del IFN2 con presencia de *Quercus suber* en Cataluña. En el 61,56% de las mismas, de un total de 973 parcelas con presencia de esta especie, aparece el alcornoque como especie dominante, siendo así mismo significativo el 33,71% de parcelas donde esta especie aparece acompañando a masas dominantes de encina, pino negral o piñonero. El restante 4,73% de presencia de alcornoque se reparte entre distintas masas forestales (robledales y otros pinares, castañares, y plantaciones de eucaliptos o pino insignis entre otros).

• *Masas de pino negral en la España mediterránea*

En cuanto al análisis de las especies dominantes que presentan las masas de *Pinus pinaster* ssp. *mesogeensis* en España (Figuras 5, 6, 7 y 8), éstas suelen aparecer como masas con una alta dominancia del pino negral (con valores de área basimétrica relativa entorno al 80-90%) como corresponde a una especie heliófila. Puntualmente las masas de Páramos Ácidos Castellano-Leoneses, procedentes de repoblaciones, aparecen con los porcentajes de especies que se utilizaron en la implantación, con una importante representación de otros pinos. Así mismo es importante el grado de mezcla con el que aparecen las masas de pino negral en Cataluña.

CARACTERIZACIÓN DE LAS MASAS. ELABORACIÓN DE RELACIONES DENDROMÉTRICAS

Introducción

A partir de los datos del IFN2 se puede elaborar una caracterización selvícola de las masas forestales. Como variables dasométricas de especial interés, que permiten sentar las bases para una buena planificación forestal, se destacan las siguientes: densidad (N/ha), diámetro medio cuadrático (Dg), diámetro dominante (Do), altura media (Hm), altura dominante (Ho), área basimétrica por hectárea (AB), volumen con corteza por hectárea e índices de densidad (Hart y Reineke).

Así mismo, se pueden elaborar relaciones dendrométricas que sirvan de herramienta para la gestión forestal de las masas de estudio, especialmente interesantes en la planificación comarcal, provincial o regional. Entre los ajustes que tienen un cierto interés selvícola para el manejo de las masas, están los siguientes:

- Altura en función del diámetro (por árbol individual).
- Área basimétrica en función del número de pies y la altura dominante.
- Diámetro medio cuadrático en función del número de pies y la altura dominante.
- Volumen en función del índice de Reineke y la altura dominante.

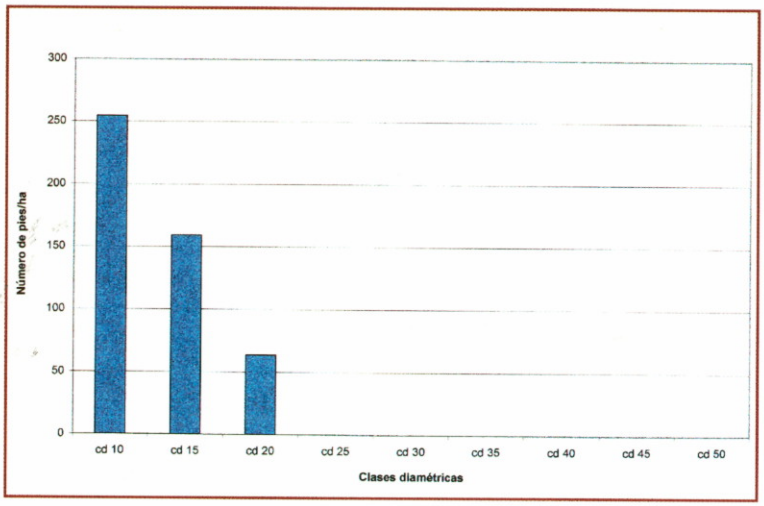

Figura 3. Distribución diamétrica de una parcela del IFN2 de Populus tremula. Área de estudio: Pirineos

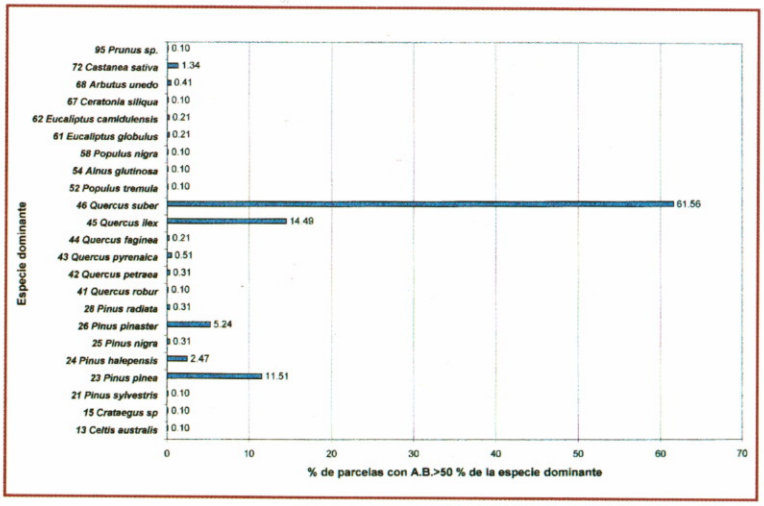

Figura 4. Dominancia de especies en las parcelas con presencia de Quercus suber. Área de estudio: Pirineos

Tabla 1. Variables dasométricas en Pinus nigra Arn. en la subregión de procedencia 7A, Sistema Ibérico Sur

Variables	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Est.
Densidad (Nº de pies/ha)	746	5121	115	646
Diámetro medio cuadrático (cm)	21	42	10	6
Diámetro dominante (cm)	31	50	15	6
Altura media (m)	10	22	4	3
Altura dominante (m)	13	26	5	4
Área basimétrica (m^2/ha)	21	59	10	10
Volumen con corteza (m^3/ha)	117	363	30	71
Índice de densidad Hart	37	77	12	14
Índice de densidad Reineke	467	1465	195	236

- Volumen en función del área basimétrica y la altura dominante.

Objetivos y metodología

El objetivo principal de esta caracterización es la obtención de los valores promedios de las principales variables dasométricas, así como el rango en que se mueven. Estos valores son especialmente interesantes cuando se procede a la comparación de distintas zonas de estudio.

La metodología a seguir consiste, básicamente en lo siguiente:

1) Seleccionar la especie y las áreas de estudio (mediante el conocimiento de las UTM correspondientes).
2) Obtener los valores promedio, máximo mínimo y desviación estandar de cada variable dasométrica.
3) Realizar un análisis comparativo para las distintas zonas de estudio.
4) Elaborar las principales relaciones dendrométricas.

Como ejemplo, se presentan resultados de la caracterización selvícola de las masas de:

- *Pinus nigra Arn.* en el Sistema Ibérico (PRIETO *et al.*, 2001).
- *Pinus pinaster ssp. mesogeensis.*
- *Pinus sylvestris L.* en los Páramos Ácidos del norte de Castilla y León (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2001).
- *Masas de pino laricio en el Sistema Ibérico.*

En la Tabla 1 se presenta un ejemplo de los valores promedio de las principales variables dasométricas de una de las masas de estudio. Estos valores permiten una sencilla y básica caracterización del área forestal, para una de las 3 subregiones dentro de las regiones de procedencia mencionadas por CATALÁN *et al.* (1991).

- ***Masas de pino negral en la España mediterránea***

El análisis de las diferentes variables dendrométricas, por ejemplo el número de árboles por hectárea y el área basimétrica entre otras, para las distintas masas ocupadas por una misma especie, nos permite realizar comparaciones especialmente interesantes. Como ejemplo se incluye la variación del número de pies/ha (valor promedio) para las distintas áreas geográficas de *Pinus pinaster ssp. mesogeensis* (Figura 9). Las mayores densidades se encuentran en las regiones

geográficas de Culebra (Zamora) y en los Páramos Ácidos del norte Castilla y León. Estas altas densidades se corresponden con masas jóvenes de repoblación implantadas en la década de los 60 que todavía están pendientes de claras en gran parte. En el otro extremo, con las densidades más bajas de la especie, se encuentran las masas de la Meseta Castellana, masas naturales situadas en condiciones edáficas y climáticas extremas.

• ***Masas de pino albar en los Páramos Ácidos Castellano-Leoneses***

Para ilustrar los principales ajustes de las relaciones dendrométricas se presentan los modelos elaborados para las masas de *Pinus syvestris* L. en los Páramos Ácidos del norte de Castilla y León (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2001). Los modelos fueron elaborados sobre parcelas monoespecíficas o puras en las que la especie de estudio representa más de un 90% en número de pies mayores por hectárea y con más de 10 m^2/ha de área basimétrica. Los valores de los errores estándar para cada modelo se muestran entre paréntesis.

- Área basimétrica en función del número de pies y la altura dominante.

$$LnAB = -2{,}7377\ (0{,}3697) + 0{,}4847\ (0{,}0445)\ LnN + 1{,}0686\ (0{,}0775)\ LnHo \qquad R^2 = 0{,}73$$

- Diámetro medio cuadrático en función del número de pies y la altura dominante.

$$LnDg = 3{,}3572\ (0{,}1848) - 0{,}2577\ (0{,}0222)\ LnN + 0{,}5343\ (0{,}0387)\ LnHo \qquad R^2 = 0{,}76$$

- Volumen en función del índice de Reineke y la altura dominante.

$$LnV = -4{,}2178\ (0{,}3435) + 0{,}7366\ (0{,}0553)\ LnSDI + 1{,}6990\ (0{,}0889)\ LnHo \qquad R^2 = 0{,}90$$

Donde: *LnDg* es el del diámetro medio cuadrático, *LnN* el número de árboles, *LnHo* la altura dominante, *LnAB* el área basimétrica, y *LnSDI* el índice de densidad de Reineke.

PRIETO *et al.*, (2001) muestra un análisis similar para las masas de *Pinus nigra* en el Sistema Ibérico Meridional.

VALIDACIÓN DE MODELOS SELVÍCOLAS Y ELABORACIÓN DE NORMAS DE DENSIDAD

Introducción

Las normas selvícolas o de densidad se definen como "leyes, empíricas o no, que consideran la evolución deseable del número de pies por unidad de superficie conforme al desarrollo del rodal. La misma norma selvícola se traduce en forma de tabla o curva indicando el número de pies recomendado a mantener en cada etapa de desarrollo del rodal" (REQUE, 2001).

Las principales ventajas que presentan las normas selvícolas son las siguientes:

- Elaboración sencilla frente a otros modelos selvícolas.
- Facilidad de manejo al basarse en variables de fácil medición en campo (normalmente altura dominante, diámetro y densidad de pies) frente a tablas de producción u otros modelos basados en edad, calidad de estación o crecimiento.
- Las normas selvícolas ayudan en la toma de decisiones a nivel rodal al programar las actuaciones en función de variables sencillas (altura dominante), facilitando las labores de señalamiento y supervisión de trabajos selvícolas

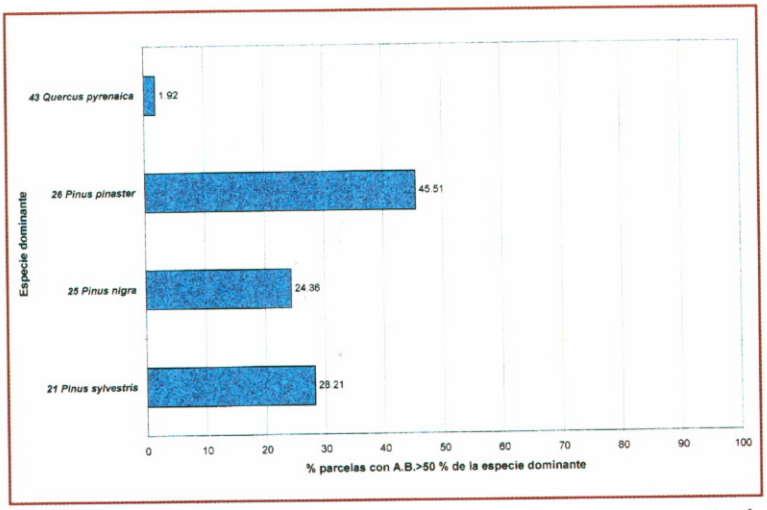

Figura 5. Dominancia de especies en las parcelas con presencia de Pinus pinaster. Área de estudio: Páramos ácidos castellano-leoneses.

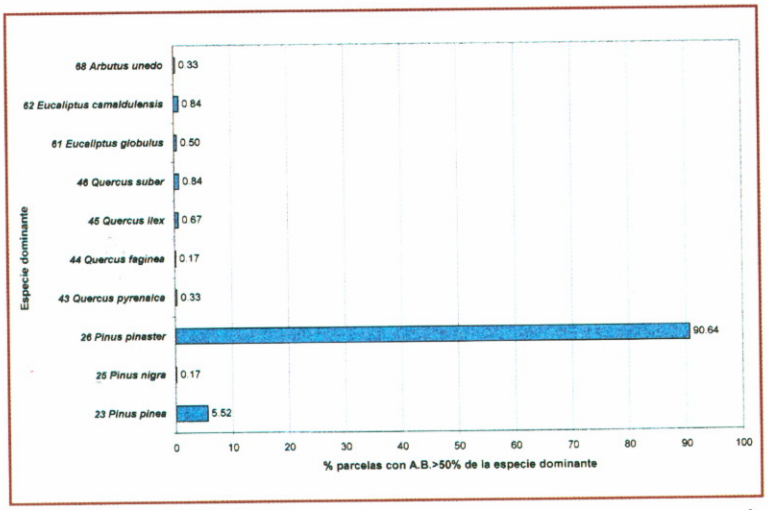

Figura 6. Dominancia de especies en las parcelas con presencia de Pinus pinaster. Área de estudio: Montes de Toledo-Villuercas.

Por el contrario, las principales desventajas o críticas son:

- En muchos casos no se recogen casos especiales de manejo selvícola debido a una excesiva simplificación de las mismas.
- En países con una gran tradición forestal, se tiende a llevar el manejo forestal a un nivel más detallado, trabajando sobre cada bosquete, por lo que la simplificación que suponen las normas selvícolas no es correcta para esta intensidad de gestión, pues suponen una falta de atención a las características especiales de cada rodal.

Las normas selvícolas se expresan mediante relaciones basadas en el diámetro o en la altura y el número de pies por hectárea. Las relaciones basadas en el diámetro medio cuadrático toman como partida la expresión:

$$N = b_0 * (D_g)^{b_1}$$

Donde N es el número de pies por hectárea, Dg el diámetro medio cuadrático y b_0 y b_1 son parámetros constantes. La relación anterior se puede linealizar mediante logaritmos:

$$\log N = \log b_0 + b_1 \log Dg$$

Entre los índice de espesura que incorporan el diámetro medio cuadrático y que posibilitan la planificación de claras destaca el índice de densidad de Reineke, cuya expresión es:

$$SDI = N\left(\frac{D_0}{D_g}\right)^{\beta_1}$$

Donde *SDI* es el índice de Reineke o índice de densidad del rodal, *N* es el número de pies por hectárea, D_g es el diámetro medio cuadrático del rodal, D_0 es el diámetro de referencia, (25 cm o 10 pulgadas), y β_1 es la pendiente de la recta de Reineke. El valor de la pendiente de Reineke no es constante, como propuso este autor (β_1= -1,605), sino que varía con la especie, debiéndose estudiar en cada caso particular (BRAVO *et al.*, 1997).

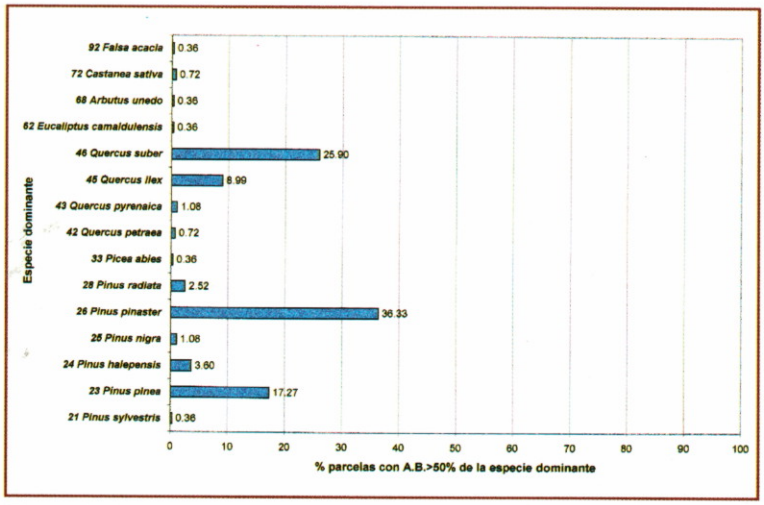

Figura 7. Dominancia de especies en las parcelas con presencia de Pinus pinaster. Área de estudio: Litoral catalán

Basándose en el valor máximo de SDI para una especie, LONG (1985) da una regla general al indicar que aunque los valores de SDI varían con la especie, la interpretación en valores relativos, permanece constante. Así este autor, define el 60% del SDI máximo (para una especie y zona geográfica concreta) como el límite inferior a partir del cual comienza a aparecer autoaclareo en las masas forestales y el 35% del SDI máximo como el límite inferior de la completa ocupación de la estación. Por tanto un régimen selvícola coherente debiera mantener las masas forestales en esta banda definida por 0,6 SDI máximo y 0,35 SDI máximo (BRAVO *et al.*, 1997).

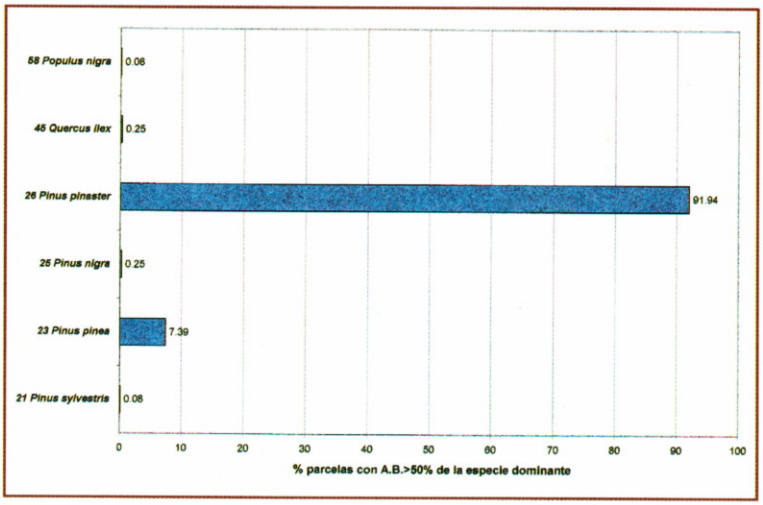

Figura 8. Dominancia de especies en las parcelas con presencia de Pinus pinaster. Área de estudio: Meseta castellana

Las relaciones basadas en la altura toman habitualmente, como referencia, la altura dominante. Como altura dominante se toma comúnmente la altura dominante de Assman o bien la altura dominante de Hamilton. El principal índice de espesura basado en la altura dominante y con aplicación para el establecimiento de leyes empíricas es el índi-

ce de Hart y su modificación el índice de Hart-Becking (para plantaciones en marco triangular). Estos índices están incluidos dentro de los denominados "índices de espaciamiento" pues establecen el número de pies a mantener por hectárea en función de la altura. La expresión matemática de los mismos varía según sea la distribución de los árboles en el terreno de la siguiente forma:

- Para plantaciones en marco real:

$$S_{HB} = \frac{10000}{H_0 * \sqrt{N}}$$

- Para plantaciones en marco triangular:

$$S_{HB} = \frac{10000}{H_0 * \sqrt{N * 0.866}}$$

- Para masas sin ningún tipo de distribución especial (masas naturales o procedentes de siembra a voleo):

$$S_{HB} = \frac{10000}{H_0 * \sqrt{N * 0.933}}$$

El mantenimiento de un índice de Hart constante a lo largo del desarrollo del rodal ha sido citado frecuentemente como una eficaz herramienta de prescripción selvícola (GARCÍA ABEJÓN Y GÓMEZ LORANCA, 1989; MONTERO Y CANDELA, 1998; REQUE, 2001). Al mantener constante el valor del índice de Hart se mantiene invariable la densidad y el espaciamiento relativo entre árboles, pues al incrementarse la altura aumenta el espaciamiento absoluto entre pies pero no el espaciamiento relativo. Con el mantenimiento de una densidad o espesura constante durante el desarrollo del rodal se conserva aproximadamente constante el crecimiento del rodal.

Como valores orientativos para un conjunto amplio de especies forestales se citan los siguientes índices de Hart:

- Índices de Hart < 20: espesuras forestales fuertes.
- Índices de Hart entre 20-30: espesuras forestales correctas.
- Índices de Hart > 30: espesuras forestales defectivas.

Estos valores se pueden ajustar más concretamente para distintas especies a partir de trabajos elaborados mediante parcelas en campo. Así MONTERO Y CANDELA (1998) citan valores de Hart recomendables para distintas especies de *Pinus sp.* (Tabla 2).

Objetivos y metodología propuesta

El análisis del comportamiento de las distintas normas selvícolas dentro de los límites de densidad óptima planteados a partir de los índices de Hart y Reineke se puede elaborar a partir de los datos del IFN2 y BASIFOR. Este análisis y la validación de los óptimos de densidad para las masas españolas permiten la elaboración de unas primeras normas selvícolas sencillas de las masas forestales para las que no se cuente con estas herramientas de gestión.

BASIFOR se presenta como una importante herramienta informática para la discusión de las normas selvícolas ya elaboradas a partir de datos de campo. Para el análisis se deben fijar a priori los valores de densidad óptimos para las distintas especies. Estos valores óptimos pueden ser los citados para el índice de Hart o bien las apreciaciones de LONG

Tabla 2. Valores de Índice de Hart recomendables para distintas especies Pinus sp. (Fuente: MONTERO Y CANDELA, 1998)

Especie	Valores de Índice de Hart recomendables
Pinus sylvestris	21-23
Pinus nigra	23-25
Pinus pinaster	24-27
Pinus pinea	40-45

(1985) basadas en el índice de densidad de Reineke. En este ultimo caso se puede sustituir la "máxima densidad biológica" por la "máxima densidad observada" (bien a partir de los datos del IFN2 o a partir de parcelas expresamente seleccionadas para determinar la máxima densidad). Esta expresión ha sido utilizada en España por MONTERO Y CANDELA (1998), REQUE (2001) y RÍO *et al.* (2001b).

La metodología que se ha seguido en el análisis de normas selvícolas mediante los datos aportados por el IFN2 consiste, de forma resumida, en lo siguiente:

1) Seleccionar la especie y el área geográfica de estudio.
2) Realizar la selección del área de estudio a partir de las bases del IFN (coordenadas UTM, o términos municipales).
3) Definir masas monoespecíficas y que presenten un número mínimo de pies (en nuestro caso, 90% de los pies mayores pertenecientes a la especie de estudio y con más de 10 m^2/ha de área basimétrica de la especie seleccionada).
4) Obtener los cálculos por parcela en BASIFOR (variables referidas a la hectárea).
5) Seleccionar dentro de las parcelas los distintos rangos de espesura en función de los índices de Hart y Reineke.
6) Ajustar relaciones de altura dominante/número de pies por hectárea, diámetro medio cuadrático/número de pies, altura dominante/área basimétrica, altura dominante/diámetro medio cuadrático, altura dominante/volumen.
7) Analizar y comparar estos ajustes y gráficos con los obtenidos en trabajos de campo ya publicados (tablas de producción, normas selvícolas, etc) tomados como referencia selvícola.

A modo de ejemplo se ilustra lo comentado hasta ahora con distintos trabajos sobre el análisis de las principales especies forestales españolas que se está realizando por el grupo de investigación sobre gestión forestal sostenible (Departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura de la Universidad de Valladolid). Como muestra de los mismos, se ha trabajado entre otras, con las siguientes referencias selvícolas:

- Bases para la selvicultura del roble albar *(Quercus petraea* (Matts.) Liebl.*)* en la Cordillera Cantábrica de REQUE (2001). En este trabajo, el autor elabora una norma selvícola para la especie mediante análisis sincrónico a partir de parcelas de contraste en la Montaña Palentina. Trabaja con el índice de Hart para evitar el problema que presenta el índice de Reineke en masas naturales y montanas de frondosas debido a la presencia de pies trasmochados y pies lobo.

  Manual de claras para repoblaciones de *Pinus pinea* L de MONTERO Y CANDELA (1998). Los autores realizan una propuesta de selvicultura para las masas de piñonero de la provincia de Huelva a partir de parcelas de muestreo dirigido en masas que, a priori, presentaban un adecuado

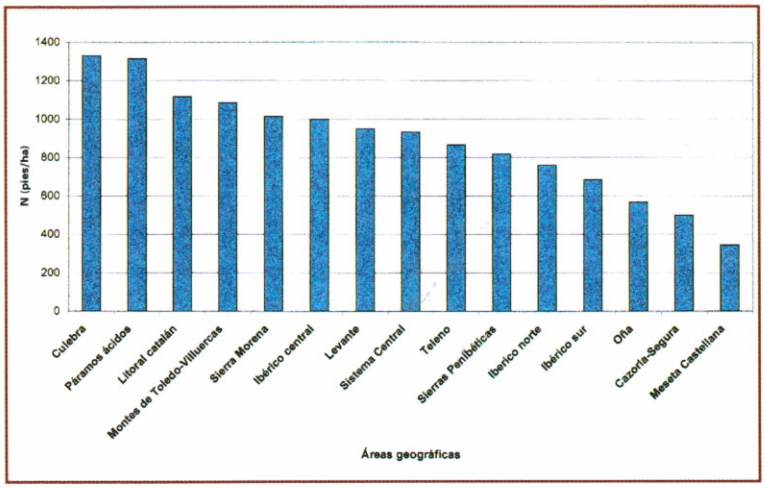

Figura 9. Densidad de pies (N) en las distintas áreas geográficas de Pinus pinaster ssp mesogeensis

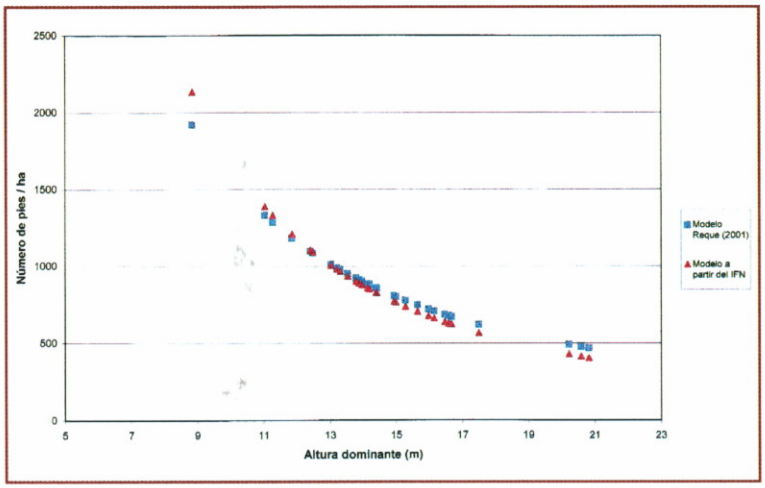

Figura 10. Comparación de los modelos selvícolas de Quercus petraea. Área de estudio: Cordillera Cantábrica

tamaño para su edad, a partir del índice de Reineke.

Los datos aportados por estos trabajos se han comparado con los obtenidos, para las mismas áreas geográficas, a partir del IFN2 y BASIFOR.

Resultados y discusión

• *Masas de roble albar de la Cordillera Cantábrica*

Para la elaboración de las curvas de densidad se ha trabajado con las parcelas del IFN2 de la Cordillera Cantábrica que cumplen los requisitos de masa pura para esta área geográfica. El número total de parcelas obtenidas con BASIFOR es de 122 parcelas repartidas entre las provincias de Burgos (6), Asturias (44), Cantabria (42), León (15) y Palencia (15).

A partir de estos datos se han definido distintas densidades tomando como referencia los límites del índice de Hart < 20: espesuras forestales fuertes (con un total de 26 parcelas), entre 20-30: espesuras forestales correctas (con un total de 32 parcelas) y >30: espesuras forestales defectivas (con un total de 64 parcelas). En la Figura 10 de alturas dominantes/número de pies obtenida a partir de los datos del IFN2, con espesuras correctas, se ha superpuesto la propuesta de REQUE (2001) para las mismas masas, definida por la siguiente relación:

$$LnN = 11{,}1347 - 1{,}64823\ln(Ho) \quad R^2 = 0{,}7207$$

Donde (N) es el número de pies por hectárea y (Ho) la altura dominante.

Como se observa en la Figura 10, las líneas de tendencia de las masas óptimas analizadas por REQUE (2001) y las obtenidas a partir de los datos del IFN2 para la Cordillera Cantábrica coinciden en gran medida. Esto permite la validación de los límites de los índices de Hart para las masas que presentan espesuras óptimas, trabajando con esta especie de tendencia eurosiberiana.

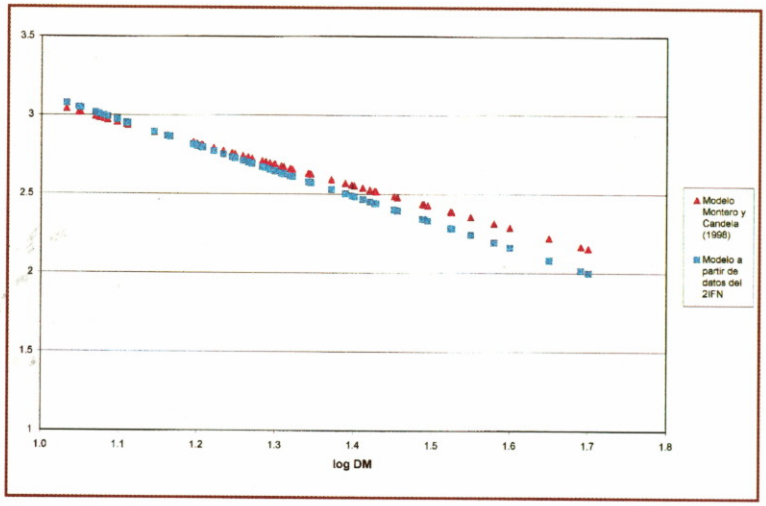

Figura 11. Comparación de los modelos selvícolas de Pinus pinea. Área de estudio: Huelva

El modelo elaborado a partir de los datos del IFN2 como norma selvícola para esta especie y este área geográfica es el siguiente:

$$LnN = 11{,}89573 - 1{,}9413\,\mathrm{Ln}(Ho)$$
$$R^2 \text{ ajustada} = 0{,}6884$$

Este modelo presenta notables similitudes con el modelo propuesto por REQUE (2001) a partir de un muestreo sincrónico dirigido.

Tomando pues, como válidos los rangos del índice de Hart entre 20-30 como espesuras forestales óptimas para *Quercus petraea* se puede desarrollar una norma selvícola sencilla a partir de los datos del IFN2 para otra área geográfica en la que no se disponga de ningún modelo selvícola de gestión. En este caso, se ha desarrollado con la misma metodología una norma selvícola para roble albar en Pirineos cuya expresión matemática es la siguiente:

$$LnN = 11{,}183291 - 1{,}639493\,LnHo$$
$$R^2 \text{ ajustada} = 0{,}7448$$

Así mismo, el conocimiento del número de parcelas que se incluyen en cada rango del índice de Hart permite definir las necesidades relativas de actuación en el conjunto de las masas de estudio. Este aspecto es especialmente interesante para la elaboración de planes forestales a nivel comarcal o regional, dando una visión amplia sobre el estado de las masas gestionadas. En este caso el conjunto de robledales albares en la Cordillera Cantábrica se presentan porcentualmente como sigue:

- ***Masas de pino piñonero en la provincia de Huelva***

Con las 102 parcelas de masas puras de pino piñonero en la provincia de Huelva, obtenidas con BASIFOR de la base de datos del IFN2, se ha elaborado la Figura 11 donde se relaciona la densidad de pies (log N, siendo N: número de pies por hectárea) y el diámetro medio (log Dm). De las 102 parcelas, 32 presentan índice de Reineke<35%, 57 parcelas un índice de Reineke comprendido entre 35 y 60 % y tan sólo 13, un valor de este índice por encima de 60. A partir de

Tabla 3. Porcentaje de parcelas en los distintos rangos de densidad (Índice de Hart) para el roble albar en la Cordillera Cantábrica

Índice de Hart	Nº de parcelas	Valoración selvícola
<20	26 (21,30 %)	*Fuertes espesuras. Necesidad de claras.*
20-30	32 (26,23 %)	*Densidades óptimas. Manejo correcto.*
>30	64 (52,47 %)	*Densidades defectivas. Debidas principalmente a que son (o fueron) masas silvopastorales o con fuerte presión antrópica (fuego, rozas, etc.).*
Total	122 (100 %)	

los datos de las parcelas del IFN2 (valor máximo de SDI encontrado: 733 y valor del exponente del índice de Reineke:-1,605) se obtiene la recta de referencia para la densidad óptima según Long (1985) (índice de Reineke entre 35-60 % del SDI máximo biológico) y se compara con la recta de referencia que proponen Montero y Candela (1998) como densidades óptimas para las mismas masas, cuya expresión es:

$$\text{Log } N = 4{,}41543 - 1{,}330 \text{ Log } Dm$$

Como se observa en la Figura 11, las líneas de tendencia de las masas óptimas analizadas por Montero y Candela (1998) y las obtenidas a partir de los datos del IFN2 para Huelva coinciden en gran medida. Esta similitud permite la validación de los límites de los índices de Long (a partir del índice de Reineke), para las masas que presentan espesuras óptimas, trabajando con esta especie heliófila mediterránea. En este caso, es preferible trabajar con el índice de Reineke en vez de usar el índice de Hart pues esta metodología permite ajustar los límites de Long (fijados a partir del SDI máximo biológico u observado) a las características de espesuras defectivas de las masas más mediterráneas. Se evita así, el trabajar con el índice de Hart que daría valores engañosos (generalmente altos valores correspondientes a espesuras defectivas) para el caso de especies que de por sí presentan masas claras (como son en general las coníferas más mediterráneas: *Pinus pinea, Pinus pinaster y Pinus halepensis*).

El modelo elaborado a partir de los datos del IFN2 como norma selvícola para esta especie y esta área geográfica es el siguiente:

$$\text{Log } N = 4{,}73989 - 1{,}611574 \text{ Log } Dm$$
$$R^2 \text{ ajustada} = 0{,}9256$$

Este modelo presenta notables similitudes con el modelo propuesto por Montero y Candela (1998) a partir de los datos aportados por sus parcelas de campo.

Tomando, pues, como válidos los rangos propuestos por Long para el índice de Reineke (espesuras forestales óptimas en el rango comprendido entre el 35% y el 60% del SDI máx observado) para *Pinus pinea* se puede desarrollar una norma selvícola sencilla a partir de los datos del IFN2 para otra área geográfica, como se ha presentado para el roble albar. En este caso, se ha desarrollado con la misma metodología una norma selvícola para las masas piñoneras de la Meseta Castellana a partir de los datos

Tabla 4. Porcentaje de parcelas en los distintos rangos de densidad (Índice de Reineke). Pinares de piñonero en la provincia de Huelva

Índice de Reineke	Nº de parcelas	Valoración selvícola
>60% SDI máx[1]	14 (13,33 %)	*Fuertes espesuras. Necesidad de claras.*
60%-35% SDI máx	58 (55,24 %)	*Densidades óptimas. Manejo correcto.*
<35 % SDI máx	33 (31,43 %)	*Densidades defectivas. En estas parcelas se incluyen las masas más costeras que suelen presentar espesuras más claras.*
Total	105 (100 %)	

[1] SDI más: Índice de Reineke máximo

obtenidos del IFN2 cuya expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Log } N = 4{,}76593 - 1{,}423476 \text{ Log } Dm$$
$$R^2 \text{ ajustada} = 0{,}8848$$

El total de parcelas analizadas es de 165 (con condiciones de masa pura de piñonero) repartidas entre las provincias de Valladolid (137), Zamora (12), Segovia (11), Ávila (3), Salamanca (1) y Burgos (1) de las cuales el 47,87% presentan unos valores de Reineke considerados como espesura óptima.

Del mismo modo, el conocimiento del número de parcelas que se incluyen en cada rango del índice de Reineke permite definir las necesidades de actuación en el conjunto de las masas de estudio, presentándose este análisis como una herramienta importante para la planificación forestal. En este caso el conjunto de pinares de piñonero onubenses se presentan porcentualmente como sigue:

Conclusiones

Sin entrar en interpretaciones selvícolas sobre las diferencias entre las líneas de tendencia obtenidas a partir de BASIFOR y las propuestas de los autores (Reque, 2000; Montero y Candela, 1998), se aprecian notables similitudes en los casos aquí presentados.

Aunque la comparación de los distintos ejemplos de selvicultura de referencia con los datos obtenidos del IFN2, en muchos casos, supone una simplificación de los trabajos de los distintos autores, se observa una tendencia similar en la definición de la selvicultura de referencia según se trabaje con unos u otros datos. Un primer análisis permite, a la espera de analizar un conjunto más amplio de especies, suponer que los límites propuestos a partir de los índices de Hart y Reineke en cuanto a densidades son aplicables a las masas españolas. Esto permitiría la elaboración de sencillas selviculturas de referencia para numerosas especies y áreas geográficas que todavía no tienen ninguna norma en la que basar un modelo selvícola. La obtención de éstas, en una primera aproximación y siempre pendiente de los trabajos de campo, resulta sencilla a partir de los datos obtenidos por el IFN2 y BASIFOR. Así mismo, para aquellas masas en las que existen trabajos ya realizados, el uso de estas mismas herramientas puede mejorar notablemente la discusión de los resultados, así como un análisis más exhaustivo de la realidad de las masas, permitiendo un avance importante en la planificación forestal.

ESTUDIOS SOBRE LA PRODUCCIÓN

Introducción

La producción esperada es otro de los aspectos que se pueden analizar a través de los datos aportados por el IFN2. Esta estimación de la producción se presenta como una herramienta básica para el gestor que podrá conocer de antemano las producciones de las masas forestales. Generalmente la estimación de la producción no se puede realizar directamente a partir de los datos aportados por el IFN2 sino que se necesitan de herramientas complementarias para este tipo de análisis (ecuaciones de perfil de tronco, ecuaciones de producción de corcho, ecuaciones de producción de biomasa, ecuaciones de producción de piña, etc.).

Objetivos y metodología

Cada vez son más las zonas forestales que cuentan con modelos de producción (de productos maderables o no maderables) a partir de datos dasométricos o variables medidas en el IFN2. La implementación de estos modelos a la base de datos del inventario permite obtener datos sobre la producción esperada.

La metodología a seguir consiste, básicamente en lo siguiente:

1) Seleccionar la especie y las áreas de estudio (mediante el conocimiento de las UTM correspondientes).
2) Obtener las variables dasométricas necesarias para el uso de las herramientas complementarias que estiman la producción.
3) Estimar la producción a partir de los datos aportados por el IFN2.

Para ilustrar este apartado se analizan dos especies y dos aprovechamientos distintos:

- Masas con aprovechamiento maderero (*Pinus sylvestris* en el Alto valle del Ebro).
- Masas con aprovechamiento corchero (alcornocales del Sur de España y alcornocales catalanes).

Resultados y discusión

• Pinus sylvestris en el Alto valle del Ebro, masas con aprovechamiento maderero

A partir de los datos aportados por las parcelas del IFN2 en el área de estudio y aplicando ecuaciones de perfil de tronco se facilita la definición de los tipos de selección a realizar sobre la madera existente para las distintas industrias de transformación.

Las ecuaciones de perfil fueron realizadas por RUIZ (2001) a partir del modelo de DAQUITANE *et al.* (1999). Se trata de un modelo integrado con exponente variable. Este exponente varía a lo largo del tronco en función de la altura relativa para poder captar con mayor facilidad las variaciones del perfil. Su expresión es:

$$d = (1 + b_3 \cdot e^{-b_4 \cdot hr}) \cdot \left[b_5 \cdot D \cdot (1 - hr)^{b_{10} + b_{11} \cdot \left(\frac{H}{D}\right) + b_2 \cdot (1 - hr)} \right]$$

La estimación de los parámetros, para el Alto Valle del Ebro es la recogida en la Tabla 5.

Esta ecuación de volúmenes se aplicó a las 82 parcelas del IFN2 existentes en el área de estudio a partir de las cuales se estimaron los porcentajes de madera de desenrollo, sierra y trituración. El criterio seguido ha sido considerar madera de sierra a la madera libre de nudos (considerando la altura de poda natural como 2/3 de la

Tabla 5. Estimación de los parámetros para las ecuaciones de perfil de tronco

PARÁMETRO	ESTIMACIÓN
b10	0,94787608
b11	-2,03246108
b2	-1,25514581
b3	0,48545426
b4	11,03204220
b5	0,81789123

altura total del fuste, RUIZ DE LA TORRE, 1979), madera de trituración a la diferencia entre la madera de sierra y el volumen total del fuste y madera de chapa al volumen del fuste hasta 25 cm de diámetro en punta delgada. Estos criterios se pueden variar dependiendo de las necesidades de las distintas industrias de la madera. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

• ***Alcornocales del Sur de España (Málaga) y alcornocales catalanes (Gironay Barcelona), con aprovechamiento corchero***

Siguiendo la metodología propuesta por MONTERO *et al.* (1991) se puede obtener una relación sencilla entre la producción corchera (PC, en kg/ha) y el área basimétrica productora (AB de los árboles descorchados en m^2/ha). Estas relaciones se pueden obtener a partir de los datos aportados por el IFN2 (principalmente la circunferencia normal sobre corcho y la altura de descorche) así como los datos de producción de corcho individual para las distintas zonas españolas elaboradas por MONTERO *et al.* (1996) y GONZÁLEZ ADRADOS *et al.* (1993). Los modelos son especialmente interesantes pues permiten realizar previsiones sobre la productividad de las masas a estudio en un ámbito comarcal sin realizar costosos inventarios. Así mismo, pueden ser una herramienta importante para el gestor forestal puesto que con una simple medición del área basimétrica productora se puede estimar de forma sencilla la producción corchera.

Los pasos a seguir son los siguientes:

1) Seleccionar la especie y el área geográfica de estudio.
2) Realizar la selección del área de estudio a partir de las bases del IFN2 mediante BASIFOR (Especie y Provincias).

Tabla 6. Porcentajes de chapa, sierra y trituración. Parcelas de Pinus sylvestris del IFN2 del Alto Valle del Ebro

RESULTADO[1]	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MÁXIMO	MÍNIMO
D (cm)	24,17	6,45	40,61	13,79
Altura total (cm)	1141,96	350,39	2220,61	603,80
Número de pies/ha	1562,10	593,71	2629,55	790,43
Vol. Total (m^3)	329,01	239,40	1407,40	55,07
Vol. fuste (m^3)	321,46	238,55	54,26	54,26
Vol. Chapa (m^3)	162,70	180,03	899,84	0,26
% Chapa	43 %	26	87	0
Vol. Sierra (m^3)	307,35	225,40	1320,39	52,08
% Sierra	96 %	2	99	94
Vol. Trituración (m^3)	14,52	13,76	78,11	0,97
% Trituración)	4 %	1	6	1

[1] D: Diámetro normal Vol: Volumen

3) Obtener los cálculos por parcela en BASIFOR (variables referidas a la hectárea y a pies individuales).
4) Calcular pie a pie la producción de corcho en kilos a partir de distintas ecuaciones que estiman la producción corchera del árbol individual para las distintas zonas de alcornocal (MONTERO *et al.*, 1996 y GONZÁLEZ ADRADOS *et al.*, 1993).
5) Extrapolar estos datos de kg/árbol a kg/ha mediante los factores de expansión del IFN2.
6) Ajustar las relaciones de Producción de Corcho/Área Basimétrica de los pies en producción. Es más recomendable trabajar con el área basimétrica de los árboles descorchados, en lugar de trabajar con el área basimétrica total, para evitar el efecto de los árboles sin pelar, que en algunas regiones como Cataluña, puede llegar a ser considerable.
7) Analizar y comparar estos ajustes y gráficos con los obtenidos en trabajos de campo ya publicados.

Como ejemplo, se incluye a continuación la estimación de la producción corchera para la provincia de Málaga, a partir de los datos del IFN2 y se compara con la estimación corchera para la misma zona de estudio realiza por MONTERO *et al.* (1991) a partir de 21 parcelas piloto productoras de corcho. El rango de áreas basimétricas oscila entre 4,5 m^2/ha y 25 m^2/ha, pues a partir de este área basimétrica la producción corchera decae de forma importante.

Para el cálculo de la producción corchera individual se han tomado las relaciones recogidas en la Tabla 7. Dichas relaciones son aplicadas a los datos de árbol individual aportados por el IFN2. Una vez calculadas se pasan a producciones por hectárea y se obtiene una relación entre la producción de corcho (PC) y el área basimétrica productora (AB).

Siendo SDCH la superficie de descorche en m^2, CSC la circunferencia normal sobre corcho en metros y HD la altura de descorche en metros.

Los resultados obtenidos a partir de los datos del IFN2 se comparan con los de MONTERO *et al.* (1991) en la Figura 12.

- Modelo de producción de corcho para la provincia de Málaga, obtenido a partir de los datos del IFN2:

$$PC = 325{,}688583 * AB \qquad R^2 = 0{,}91$$

- Modelo de producción de corcho, para la provincia de Málaga, obtenido por MONTERO *et al.* (1991)

$$PC = 124{,}25 + 433{,}53 * AB \qquad R^2 = 0{,}83$$

El modelo de producción corchera elaborado a partir de los datos aportados por el IFN2 presenta una pendiente similar a la del modelo obtenido por MONTERO *et al.* (1991) aunque los resultados de producción son siempre meno-

Tabla 7. Producción corchera individual para la provincia de Málaga (Fuente: MONTERO et al., 1996)[1]

Para pies con SDCH>2 m^2	PC= 0.73+11.79* CSC*HD
Para pies con SDCH<2 m^2	PC= 11,70*CSC*HD

[1] SDCM: Superficie de descorche en m^2 — PC: Producción de corcho en kg/árbol
CSC: Circunferenia normal sobre corcho en m — HD: Altura de descorche en m

res. Esto puede ser debido a que el IFN2 aporta para la elaboración del modelo 113 parcelas, representando a todo el conjunto de masas alcornocales productoras frente a las 21 parcelas utilizadas por MONTERO *et al.* (1991).

Siguiendo esta misma metodología se pueden obtener relaciones sencillas entre el área basimétrica productora y la producción corchera por hectárea para aquellas zonas geográficas en las que no se dispone de estas relaciones. A partir de los datos del IFN2 se ha elaborado el siguiente modelo de producción corchera para los alcornocales catalanes:

$$PC = 158{,}110803*AB \qquad R^2 = 0{,}95$$

Donde (PC) es la producción de corcho en kg de corcho/ha y (AB) es el área basimétrica productora en m^2/ha.

La ecuación utilizada para la estimación de la producción individual (PC en kg de corcho por árbol), en Cataluña, ha sido la propuesta por GONZÁLEZ ADRADOS *et al.* (1993):

$$PC = 8{,}79*CSC*HD$$

Donde (CSC) es la circunferencia sobre corcho y (HD) es altura de descorche.

Comparando ambos modelos, la producción corchera de las masas catalanas es mucho menor que la obtenida en las masas andaluzas. Posiblemente esto se deba a las siguientes consideraciones:

- La diferencia en cuanto a la calidad de estación que determina el peso del corcho por m^2, presentando las masas andaluzas condiciones de estación mejores que las catalanas.
- La diferencia en cuanto al manejo de la masa determinada por las distintas alturas de descorche utilizadas, que conllevan distintas superficies de descorche, y por las distintas densidades de masa existentes en cada región corchera. Mientras en Cataluña las alturas de descorche son relativamente bajas con alto número de pies por hectárea, en Andalucía las alturas de descorche son muy superiores con densidades de pies por hectárea mucho menores.

Así mismo, conviene resaltar que los datos del IFN2 referentes a la producción de corcho no indican el momento del descorche por lo que siempre aparece un pequeño sesgo en los cálculos. La mejora de la toma de datos en próximos inventarios permitiría un mejor ajuste de la producción corchera real.

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD ESTRUCTURAL

Introducción

La diversidad ha empezado a adquirir mayor importancia en todos los ámbitos de la gestión forestal y sobretodo en el debate sobre la necesaria sostenibilidad de los ecosistemas forestales, que adquirió un mayor auge a partir de los acuerdos internacionales (Declaración de Río, Conferencia de Lisboa). El desarrollo de estructuras forestales más complejas es un objetivo de la selvicultura actual cuyos planteamientos iniciales no son solo productivos sino que se orientan a la consecución de un desarrollo sostenible de la masa, con funciones ecológicas, sociales y recreativas. La descripción cuantitativa de la estructura forestal puede considerarse como uno de los instrumentos más importantes en la gestión de los montes.

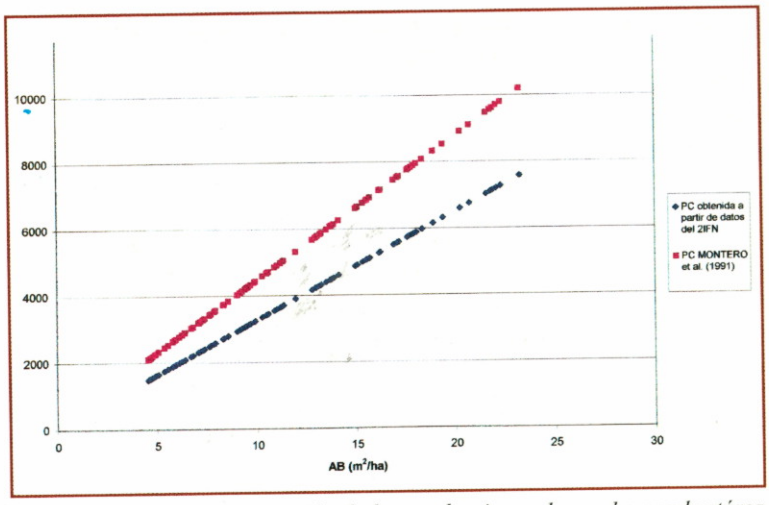

Figura 12. Comparación de las producciones de corcho por hectárea (PC) en función del área basimétrica (AB) para los alcornocales de Málaga

La estructura está directamente relacionada con el hábitat de especies animales y vegetales diferentes y por tanto es un importante indicador de biodiversidad, concepto éste, de difícil cuantificación, sobretodo de manera práctica, sencilla y ecológicamente relevante e interpretable (KINT *et al.*, 2000).

La diversidad estructural se suele definir a través de los caracteres estructurales: posicionamiento, mezcla y diferenciación tanto vertical como horizontal (GADOW Y HUI, 1999). Esta descripción se debe complementar con la densidad (índices de Reineke y Hart) y la competencia de los árboles (GADOW, 1993).

La diversidad forestal es una fuente de información relevante para el gestor forestal en lo que se refiere a la dinámica forestal (mediante parámetros que podemos modelizar) estética y producción forestal. El manejo e intervención forestal tiene un impacto directo en la heterogeneidad de la masa, que puede estimarse mediante su caracterización estructural.

La descripción estructural de una tipología forestal particular (masas sin intervención, rodales maduros) define una serie de parámetros, que tienen interés en la modelización de opciones de intervención con un turno largo o sin intervención.

La simple descripción de la estructura forestal (cualitativa o cuantitativa) debiera ser un instrumento más para la evaluación del inventario, indicando otros aspectos que difícilmente se evidencian a través de los parámetros dasométricos clásicos. Además estos indicadores pueden ser utilizados dentro de los sistemas de certificación forestal que comienzan a implantarse.

En la búsqueda de medidas cuantitativas de diversidad estructural se deben emplear en lo posible variables medibles o que se puedan calcular de manera más o menos directa, para poder cuantificar en lo posible este aspecto. A partir de los datos obtenidos en inventarios tradicionales como los del IFN2 que BASIFOR maneja, se pueden calcular varios índices de diversidad estructural de manera directa o a través de ecuaciones obtenidas en estudios previos. En cuanto a los índices que se basan en la distribución espacial de los pies o índices de posicionamiento, no son actualmente aplicables de forma directa, aunque una vez desarrolladas las herramientas complementarias necesarias se podrán aplicar a los datos del IFN2. Entre estos índices de posicionamiento (especialmente interesantes para el análisis de diversidad estructural horizontal) los más empleados son: el desarrollado por Clark y

Evans (CE), el de GADOW *et al.* (1998) de patrón de vecindad, los de mezcla como el índice de segregación (S) de PIELOU (1977) y el de GADOW (1993), los de diferenciación horizontal y vertical de GADOW (1993) y coeficiente de homogeneidad de CAMINO (1976).

Índices de diversidad estructural a partir del IFN2

Algunos de estos índices de diversidad estructural, de cálculo sencillo a partir de los datos del IFN2, son los siguientes:

• ***Riqueza de especies (RI)***

Indica de manera directa la diversidad específica, aunque para su obtención desde BASIFOR es necesario tener en cuenta además de los pies mayores, las especies de matorral y las que aún no han alcanzado el diámetro mínimo inventariable.

$RI = N$ (N) es el número de especies

• ***Indice de diversidad de Shanon (SH)*** (SHANON, 1948)

Es un índice para la diversidad de especies y en él influyen tanto el número de especies como su abundancia relativa, sin tener en cuenta la distribución espacial. Al multiplicar la proporción por su logaritmo hace que el peso de una especie sea menor según aumenta la diversidad de especies.

$$SH = \Sigma(-\log_2 p_i)^* p_i$$

p_i es la abundancia relativa de las distintas especies que puede ser calculado por proporción del número de especies, por cobertura o por área basimétrica. En vez del $\log_2$ puede ser usado el ln o el $\log_{10}$.

• ***Indice de diversidad de Simpson (SI)*** (SIMPSON, 1949)

Es un índice similar al de Shanon que refleja la diversidad de especies y en él influyen tanto el número de especies como su abundancia relativa, sin tener en cuenta la distribución espacial. Al no multiplicar la proporción por su logaritmo, el peso de una especie no se ve tan afectado por el aumento la diversidad de especies, como en el caso anterior.

$$\Sigma I = \Sigma(1-\pi_i)^* \pi_i ;$$

(π_i) es la abundancia relativa de cada especie que puede ser calculado como proporción del número de especies, por cobertura o por área basimétrica. Esta última opción refleja mejor la importancia de cada especie desde un punto de vista de competencia.

• ***Índice de regularidad (E, evenness)*** (LLOYD Y GHELARDI, 1964; MAGURRAN, 1988)

En este índice de homogeneidad, la influencia del número de especies que afecta a los dos índices anteriores es eliminada por estandarización. El índice de regularidad varía entre 0 (todos los individuos pertenecen al mismo grupo) y 1 (los individuos se reparten homogéneamente en los distintos grupos.

(SH) es el Indice de Shannon

$$E = \frac{SH}{\log_2 N}$$

(N) es el número de especies.

Además de las aplicaciones anteriormente mencionadas (área basimetrica, número de pies de las especies arbóreas) se pueden utilizar las fracciones de

cobertura del estrato de matorral aisladamente o en relación con el estrato arbóreo, ya que estos datos los proporciona el IFN2.

• ***Índice de regularidad vertical (VE, vertical evenness)***

Este índice de homogeneidad vertical refleja la distribución en altura, dando idea de la estratificación de la masa. El resultado puede estandarizarse mediante el mismo procedimiento empleado en el índice de homogeneidad antes descrito, en función de los estratos definidos. Valores bajos de VE caracterizan masas de un solo estrato vertical, mientras que el máximo teórico de 1 resultaría de una estructura muy diversificada cubriendo todo el rango de alturas de forma homogénea.

$$VE = \sum_{1}^{4} (-\log \pi_i) \frac{\pi_i}{\log 4}$$

(π_i) es el área de copa relativa de todos los árboles del estrato de altura i-ésima.

• ***Indice de complejidad (HC)*** (HOLDRIDGE, 1967)

Este es otro índice de utilización directa pues como los anteriores únicamente se basa en variables que pueden obtenerse en un inventario tradicional. Esta fuertemente influenciado por el número de especies y las medidas de efectos del crecimiento pero no contiene información de la distribución espacial ni la variación interna del rodal. Este es un defecto común de los índices calculados anteriormente que sin embargo no disminuye su utilidad en cuanto a una primera visión general de la variedad y diversidad en evaluaciones a gran escala que es el objetivo fundamental del IFN2.

$$HC = H*AB*n*N$$

Donde (H) es la altura dominante, (AB) es el área basimétrica, (n) es el número de pies y (N) es el número de especies.

• ***El Indice de diversidad foliar vertical (FHD)*** (MACARTHUR & MACARTHUR, 1961)

Este índice es una adaptación del Índice de Shannon, basado en la correlación positiva existente entre la diversidad de especies de aves y la homogeneidad de la distribución del follaje vegetal que se ha constatado en numerosos estudios. Su expresión numérica es la siguiente:

$$FHD = -\Sigma f_i \log_2 f_i$$

Donde, (f_i) es la proporción de copa de cada estrato, es decir, el volumen foliar del estrato para cada parcela dividido entre el volumen total foliar de cada parcela.

Aunque no es de aplicación directa ya que se necesitan parámetros adicionales a los aportados por el IFN2, éstos se obtienen de forma casi inmediata a través de ecuaciones modelizadas en estudios ya existentes para algunas especies (ORTEGA, 2001) y que para otras están elaborándose. Estas ecuaciones nos permiten el cálculo de variables como la altura de la base de la copa, la relación de copa, la altura al punto de máxima anchura de copa y la anchura máxima de copa.

Objetivos y metodología

Los datos aportados por el IFN2, aunque limitados, permiten un primer análisis de la diversidad estructural de las masas forestales muy ligada al concepto

más global de biodiversidad (especialmente de avifauna). El conocimiento de esta diversidad se debe añadir a la gestión forestal con el fin de hacerla compatible con el papel múltiple de los bosques.

La metodología a seguir, de forma resumida es la siguiente:

1) Seleccionar las parcelas incluidas en las masas de estudio.
2) Obtener las variables dasométricas necesarias para el uso de las herramientas complementarias que estiman la diversidad estructural.
3) Estimar la diversidad estructural a partir de los datos aportados por el IFN2 y los modelos complementarios.
4) Implementar los resultados sobre un Sistema de Información Geográfica.
5) Analizar la variación de la diversidad estructural en el espacio.

Para ilustrar este apartado se han obtenidos distintos índices de diversidad estructural para una parcela concreta del IFN2 de *Pinus pinaster* en la provincia de Segovia.

Resultados y discusión

Se ha desarrollado un ejemplo numérico empleando los datos de una parcela de *Pinus pinaster* (parcela 901 de la provincia de Segovia) dentro de la región de la Meseta Castellana, pues para esta especie y región se dispone de ecuaciones que permiten estimar parámetros adicionales a los proporcionados por el IFN2 (Ortega, 2001). Estas herramientas complementarias se plasman en las siguientes relaciones:

- Altura a la base de la copa (HCB) en metros:

$$HCB = \frac{HT}{1 - e^{-0{,}022069475 * HT}}$$

donde HT es la altura total del árbol en cuestión

- Ratio de copa (CR) adimensional:

$$CR = \frac{(HT - HCB)}{HT}$$

- Altura al punto de máxima anchura de copa (HLCW) en metros:

$$HLCW = \frac{HT}{1 + e^{-1{,}59605 + 2{,}45195 * CR}}$$

- Anchura de copa máxima (LCW) en metros:

$$LCW = (4{,}795214 + 0{,}0027078 * DBH2) * CR^{0{,}4076618}$$

donde (DBH) es el diámetro normal en cm

A partir de estos parámetros básicos y asimilando la forma de la copa a una elipsoide, compuesta de dos semielipsoides de diferente semieje vertical, calculamos los parámetros a y b semiejes de las elipses:

a= LCW/2 $\quad b_1$= HLCW-HCB (por debajo)
b_2= HT-HLCW

A continuación se calcula con estos parámetros suponiendo que la elipsoide tiene dos semiejes iguales en el plano

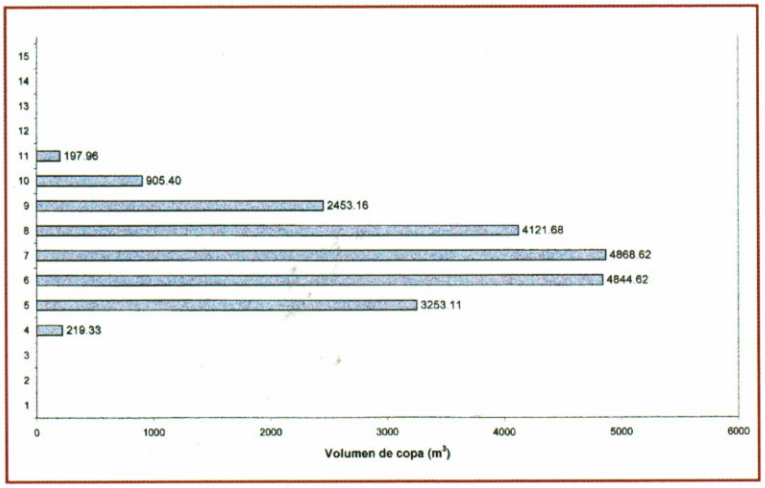

Figura 13. Índice de diversidad foliar (FHD). Representación del volumen de copa en altura para una parcela del IFN2 (Pinus pinaster provincia de Segovia)

horizontal y sabiendo que la fórmula general de las elipsoides son:

$$V_1 = (\frac{4}{3} * \pi * a^2 * b_1)/2$$

$$V_2 = (\frac{4}{3} * \pi * a^2 * b_2)/2$$

Donde (V_1) es el volumen del semielipsoide por debajo de la máxima anchura y (V_2) el volumen por encima de la máxima anchura.

El valor de la y, si suponemos que el origen de coordenadas (0,0) se localiza en el punto medio correspondiente a la máxima anchura de copa y para el cálculo del índice es necesario tener en cuenta el factor de expansión de cada árbol medido. Dando cortes horizontales cada metro de altura se obtiene una representación de la distribución del volumen de la copa en altura como se muestra en la figura 13, donde se observa de manera sintética, para el conjunto de árboles de una parcela, la estructura vertical en cada uno de los intervalos de altura marcados, y que refleja la variedad de estratos y hábitats para la fauna.

En la Tabla 8 se presentan los valores de diversos índices calculados a partir de los datos del IFN2, utilizando para el cálculo del FHD las ecuaciones elaboradas por ORTEGA (2001).

Estos índices caracterizan una parcela de muy baja diversidad estructural. El mayor interés de esta aproximación es aplicarlo a todas las parcelas de una zona de modo que puedan observarse variaciones interesantes, así como comparar entre diferentes comarcas o regiones biogeográficas y su evolución en el tiempo.

Tabla 8. Índices de diversidad estructural para una parcela del IFN2

Indice[1]	Valor
RI	5 especies (3 matorral)
SH en nº de pies	0,0761
SH en Area Basimétrica	0,377
SI en nº de pies	0,0184
SI en Area Basimétrica	0.1353
E en nº de pies	0,03805
E en Area Basimétrica	0,1885
HC	231920,766
FHD	2,66

[1] RI: Riqueza de especie; SH: Índice de Shannon SI: Índice de Simpson; E: Índice de regularidad (Evenness); HC: Índice de complejidad; FHD: Índice de diversidad foliar vertical

CONCLUSIONES

En este capítulo se han plasmado las posibilidades del IFN2 para la ordenación de montes y la selvicultura. El IFN2 representa una potente base de datos aún sin explotar en profundidad que puede ser fácilmente utilizada por los gestores forestales mediante la herramienta informática BASIFOR. Conforme avancen los trabajos del Tercer Inventario Forestal Nacional surgirán nuevas posibilidades de explotación de estos datos para la adecuada gestión de las masas forestales españolas.

AGRADECIMIENTOS

La metodología y resultados aquí expuestos no hubieran visto la luz sin el inestimable trabajo de alumnos y profesores incluidos, de alguna manera, en el grupo de investigación sobre gestión forestal sostenible del Departamento de Producción Vegetal y Silvopascicultura de la Universidad de Valladolid. Vaya nuestro agradecimiento a todos ellos y en especial a Felipe Bravo Oviedo y a Miren del Río Gaztelurrutia que lideran los trabajos presentados entorno a la base de datos del Inventario Forestal Nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFIAS

BRAVO, F.; MONTERO, G.; DEL RÍO, M. 1997. Índices de densidad de las masas forestales. *Ecología* **11**, 177-187.

CAMINO, R. DE. 1976. Zur Bestinnung der Bestandeshomogenität. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* **147**,54-58.

CATALÁN, G.; GIL, P.; GALERA, R.; MARTIN, S.; AGÚNDEZ, D.; ALÍA, R. 1991. Regiones de procedencia *Pinus sylvestris* L. *Pinus nigra* Arn. ssp. *Salzmannii* (Dunal) Franco. ICONA. Madrid. 31 pp + fichas.

CLARK, F.J.; EVANS, F.C. 1954. Distance to the nearest neighbourg as a measure of spatial relationship in populations. *Ecology* **35**, 445-453.

DAQUITANE, R.; SAINT-ANDRE, L.; LEBAN, J. M. 1999. Product properties prediction-improved simulation en then forestry-wood chain applied on spruce sawnwood : Modelling stem properties distribution. Final Report sub-task A2.1. Nancy. Documento interno INRA-URM.

DOMÍNGUEZ, M.; RÍO, M. DEL; BRAVO, F. 2001. Caracterización silvícola de las repoblaciones de *Pinus sylvestris* L. en los páramos del norte de Castilla y León. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Granada. Mesas 4-5 pp.710-715.

GADOW, K. VON; HUI G. 1999. *Modelling forest development*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 213.

GADOW, K. VON; HUI, G.; ALBERT, M. 1998. Das Winkelmab-ein Structurparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* **115**, 1-10.

GADOW, K. VON. 1993. *Zur bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. Forst und Holz* **21**, 602-606.

GARCÍA ABEJÓN, J.L.; GÓMEZ LORANCA, J. A. 1989. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus pinaster* Ait. En el Sistema Central. *Comunicaciones I.N.I.A.; Serie: Recursos Naturales* nº 47, 45 pp.

GONZÁLEZ ADRADOS, J. R.; MONTERO GONZÁLEZ, G.; ORTEGA MUELA, C. 1993. Caracterización produtiva de los alcornocales catalanes. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* **2**(1), 55-64.

HOLDRIDGE, L.R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José , Costa Rica.

ICONA. 1990. *Segundo Inventario Forestal Nacional. Explicaciones y métodos* 1986-1995, ICONA, Madrid, 174 pp.

KINT, V.; LUST, N.; FERRIS, R.; OLSTHOORN, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests. *Investigación Agraria:*

Sistemas y recursos forestales, Fuera de Serie nº 1, 147-164.

LLOYD, M.; GHELARDI, R.J. 1964. A table for calculating the "equitability" component of species diversity. *J. Anim. Ecol.* **33**, 217-225

LONG, J.N. 1985. A practical approach to density management. *Forestry Chronicle* **61**, 23-27.

MACARTHUR, R.H.; MACARTHUR, J.W. 1961. On birds species diversity. *Ecology* **42**, 594-8.

MADRIGAL, A. 1994. *Ordenación de montes arbolados*. ICONA, Madrid, 375 pp.

MAGURRAN, A.E. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, new Jersey

MONTERO, G.; CANDELA, J.A. 1998. *Manual de claras para repoblaciones de Pinus pinea L.* Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Egmasa. 47 pp.

MONTERO, G.; SAN MIGUEL, A.; ALÍA, R. 1991. Estructura y producción de los alcornocales (*Quercus suber* L.) del sur de España. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* nº 0, 69-74.

MONTERO, G.; TORRES, E.; CAÑELLAS, I.; ORTEGA, C. 1996. Modelos para la estimación de la producción de corcho en alcornocales. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*. **5**(1), 97-127.

ORTEGA, M.P. 2001. *Estudio de la eficiencia de crecimiento de Pinus pinaster Ait. en relación con la competencia y los grupos familiares*. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid. Palencia.

PIELOU, E.C. 1977. *Mathematical ecology*. New York, Wiley, 385 p.

PRIETO, C.; DOMÍNGUEZ, M.; BRAVO, F. 2001. Caracterización de las masas de *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmanni* (Dunal) Franco en el Sistema Ibérico español. *III Congreso Forestal Español*. Granada. Mesas 1-2, pp. 510-515.

REQUE KILCHENMAN, J.A. 2001. *Bases para la selvicultura del roble albar* (Quercus petraea (Matts.) Liebl.*) en la Cordillera Cantábrica*. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid. Palencia.

RÍO, M. DEL; RIVAS, J.; CONDÉS, S.; MARTÍNEZ-MILLÁN, J.; MONTERO, G.; CAÑELLAS I.; ORDÓÑEZ, C.; PANDO, V.; SAN MARTÍN, R.; BRAVO, F. 2001A. BASIFOR: Aplicación informática para el manejo de bases de datos del Segundo Inventario Forestal Nacional. *III Congreso Forestal Español*. Granada. Mesas 4-5, pp. 49-54.

RÍO, M. DEL; MONTERO, G.; BRAVO, F. 2001b. Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in non thinned even-aged Scots pine stands. *Forest Ecology Management* **142**, 79-87.

RUIZ DE LA TORRE, J. 1979. *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Sección de Publicaciones de la E.T.S. Ingeniería de Montes de Madrid. UPM, pp. 512.

RUÍZ PÉREZ, I. 2001. *Estudio para la elaboración de ecuaciones de perfil de tronco en* Pinus sylvestris L. *en el Alto Valle del Ebro*. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid. Palencia.

SHANNON, C.E. 1948. *The mathematical theory of communication*. In: Shannon,CE., Weaver,W (Eds), The mathematical Theory of Communication.University of Illinois Press,Urbana, pp 29-125

SIMPSON, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**,688.

WORRELL, R. 1995. European aspen (*Populus tremula* L.): a review with particular refrence to Scotland. II. Values, silviculture and utilization. *Forestry* **68**(3), 231-243.