

## NOTA TÉCNICA

**REDUCCIÓN DE COSTES UTILIZANDO MODELOS FORESTALES: CLASIFICACIÓN, INVENTARIO Y NORMAS DE GESTIÓN EN REBOLLARES****Francisco Rodríguez Puerta<sup>1</sup>, Froilán Sevilla Martínez<sup>2</sup>, Mariano Torre Antón<sup>2</sup> y Miguel Broto Cartagena<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Fundación Cesefor. Pol. Ind. Las Casas. c/ Parcela 4. 42004-SORIA (España)<sup>2</sup> Servicio Territorial de León. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. Avenida de Peregrinos s/n. 24071-LEÓN (España). Correo electrónico: TorAntMa@jcyl.es**Resumen**

La actual coyuntura económica requiere de una disminución drástica de los costes en la planificación y gestión forestal. La modelización se erige como una herramienta eficaz para alcanzar este objetivo. En este trabajo se utilizan modelos forestales para reducir los costes de planificación en rebollares de la provincia de León. Se utilizaron las parcelas del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) de León, realizado el año 2004. Se seleccionaron sólo las masas de rebollo (puras y mixtas) con una densidad superior a 70 pies·ha<sup>-1</sup> y con un área basimétrica superior a 1,5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. Se adaptó la tipología del Conseil Regional d'Alsace, la cual se basa en inventarios de parcelas ópticas a partir de mediciones de la proporción de área basimétrica de tres tamaños de árboles (con un diámetro normal menor de 15 cm, de entre 15 y 30 cm y mayor de 30 cm). La estimación de las principales variables de masa se realizó a partir de la medición del área basimétrica (por tamaños) y de la altura dominante. La inclusión de esta última supone una mejora sustancial en la predicción tanto del volumen como de la biomasa. En todos los casos se estimó para las distintas clases de tamaño, el número de pies (N), el volumen comercial (V) y la biomasa aérea (W) de forma simultánea. Finalmente se construyeron diagramas de manejo de densidad (DMD) que permiten predecir las existencias futuras (tanto en volumen como en biomasa) en función de distintos itinerarios selvícolas. Los resultados obtenidos nos permiten proponer una metodología de planificación de rebollares basada en inventarios sencillos que supone una reducción de costes importante.

Palabras clave: *Inventario, Tipología, Diagrama de manejo de densidad, Coste, Rebollo*

**INTRODUCCIÓN**

La actual coyuntura económica nos obliga a plantear alternativas a los clásicos inventarios forestales (IF), los cuales consumen demasiados recursos en comparación con la precisión que

ofrecen. Alrededor del 30% del presupuesto de planificación forestal se dedica al IF (Sabin, comunicación personal). La modelización forestal tiene un gran potencial para ofrecer soluciones para rebajar los costes en la gestión y planificación forestal (GyPF). Actualmente la

Fundación CeseFor, en colaboración con empresas del sector forestal de Castilla y León, principalmente con Agresta Soc. Coop. Mad, está abordando este tema con la finalidad de mejorar la competitividad del sector.

El concepto de tipología forestal (TF) nace como una síntesis sobre una terminología común cuyo principal objetivo es agrupar bosques para sistematizar su gestión selvícola. Las TF se construyen a partir de características relevantes para definir los objetivos de gestión permanente, y más aún, para la proposición de actividades selvícolas para el presente. Si bien es posible la utilización de caracterizaciones fitosociológicas basadas en variables cualitativas, la tendencia es dar preponderancia a variables cuantitativas, especialmente dasométricas. Por otra parte, considerando que la confección de una tipología forestal es una forma de representación de bosques, en que muchas variables pueden ser continuas, resulta importante la generación de claves de determinación de cada tipo y, en consecuencia, una de las potencias de una TF radica en poder asignar los bosques a algún tipo sobre simples inspecciones visuales, resultando en ahorros por conceptos de diagnóstico.

La modelización forestal se rige por dos principios fundamentales: el conocimiento exhaustivo del sistema que se pretende modelizar y el establecimiento previo de los objetivos concretos que se pretenden alcanzar (DIÉGUEZ-ARANDA et al., 2009). La utilización de modelos en los IF forestales responde principalmente a reducir la toma de datos, tanto en tiempo como en cantidad, en definitiva, a reducir su coste.

La gestión de la densidad es el proceso de control del espacio disponible para el crecimiento de los árboles (LONG, 1985; NEWTON, 1997; NEWTON, 2003). La determinación de los niveles adecuados de densidad para una masa forestal es un proceso complejo que depende de factores biológicos, tecnológicos, económicos y operacionales. Desde un punto de vista biológico, los niveles de densidad de la masa deben mantenerse entre el límite que marca el inicio del autoaclareo y el que marca el cierre de copas (DEAN & BALDWIN, 1996). Sin embargo, el traslado de objetivos específicos de manejo a niveles apropiados de densidad es el paso más difícil en el diseño de regímenes de manejo de la densidad.

Una de las formas más adecuadas para conseguirlo son los diagramas de manejo de la densidad.

El rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) se distribuye por Francia, España, Portugal y Marruecos, pero es en la Península Ibérica donde ocupa extensiones importantes, y más en el cuadrante noroccidental. Castilla y León, que dispone de 722.773 ha, de acuerdo al Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3), con más de 20 millones de metros cúbicos, es el territorio que más rebollo posee en el mundo. La mayoría de las 16 regiones de procedencia definidas para España tienen su núcleo en Castilla y León, y muy pocas no están representadas en la región (JIMÉNEZ-SANCHO et al., 1998). Está presente con abundancia en todas las provincias excepto Valladolid, y destaca en León con más de 6 millones y Salamanca con casi 4 millones. En el resto de las provincias hay más de 1,5 millones de m<sup>3</sup> por provincia, con más de 300 millones de árboles, en datos referidos a 2002, por lo que serán mayores en la actualidad. Si consideramos tanto el crecimiento como la masa incorporada, podemos decir que el rebollo ha crecido un 146% desde 1992 a 2002, multiplicando su volumen por 2,46, seguramente por la falta de aprovechamiento que ha tenido en los últimos años. Actualmente crece más de 800.000 m<sup>3</sup> por año, lo que supone alrededor de 1 m<sup>3</sup> por hectárea y año, un crecimiento bajo en comparación con otras especies pero interesante en su conjunto.

Los aprovechamientos tradicionales de rebollo han sido la leña y el carbón, y los mejores pies se han destinado a la elaboración de vigas (ya muy raramente) y cargaderos de ventanas y puertas (más habitual pero también escaso). En muchas zonas, sobre todo cerca de los pueblos, el aprovechamiento era en dehesa para uso del ganado. Excluyendo las dehesas, en épocas con déficit energético se han conducido las masas mediante aprovechamiento en monte bajo y cortas a hecho, con resultado de grandes manchas con una elevada densidad de pies coetáneos, lo que implica pequeños crecimientos individuales aunque fustes relativamente limpios para lo que es la especie, en ocasiones con algunos resalvos, pies de mayor diámetro pero mala conformación. Debido al desfase entre oferta y demanda de leñas, las cortas escasean y no pocos pies han alcanzado un diámetro suficiente para madera

de sierra, aunque de baja calidad. Actualmente se está potenciando su uso para enología debido a la calidad de su madera (CADAHÍA *et al.*, 2008).

El rebollo ha sido una especie poco estudiada y sólo existen trabajos destacables en España y Portugal. Desde las tablas de producción de TORRE (1994), pasando por algunas tipologías de masas (SERRADA *et al.*, 1993; ROIG *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2009), hasta los más recientes trabajos sobre modelización de la calidad de estación (CARVALHO & PARRESOL, 2005), altura (ADAME *et al.*, 2008), crecimiento (ADAME *et al.*, 2008), mortalidad (ADAME *et al.*, 2010) o de la estimación de su biomasa (CARVALHO & PARRESOL, 2003) y de su volumen (RODRÍGUEZ, 2010).

El objetivo de este trabajo es triple: (i) clasificar las masas de rebollo presentes en la provincia de León, comparando y adaptando las tipologías existentes, a la zona y especie estudiada, (ii) definir un inventario forestal sencillo, preciso y económico basado en la utilización del dendrómetro apoyado sobre modelos de predicción, y (iii) elaborar unas normas de gestión, para los distintos tipos de masa, basadas en la utilización de diagramas de manejo de densidad (DMD).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Datos

El trabajo se desarrolló en la provincia de León, en la región de Castilla y León. Se utilizó la información del Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3) realizado en esta provincia en el año 2004. Se restringió el estudio a masas puras y mixtas, en las que el rebollo fuera la especie principal (la densidad relativa del rebollo sobre la densidad total de la parcela fuese igual o mayor a 50%), con una densidad mínima de 70 pies·ha<sup>-1</sup> y un área basimétrica mínima de 1,5 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. De esta forma quedaron fuera del estudio las dehesas de rebollo y los “montes bajos” con mayoría de chirpiales no inventariables los cuales no quedan registrados entre los pies mayores de las parcelas del IFN3 y de los cuales no se tiene cuantificación en el IFN2. Así, fueron seleccionadas un total de 401 parcelas (Figura 1).

Se utilizaron los datos individuales de variables medidas para expandirlos a nivel de hectárea. A partir del rumbo (“Rumbo” en IFN3) y la distancia al centro de la parcela (“Distanci” en

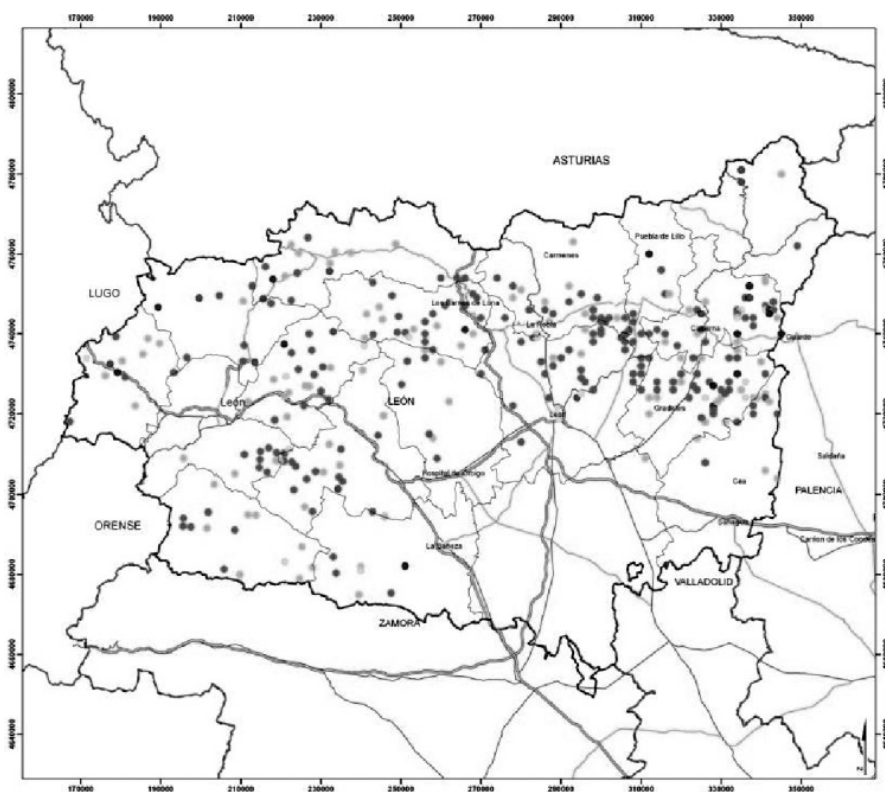


Figura 1. Distribución de las parcelas del IFN3 empleadas en el estudio

IFN3) fue posible conocer la posición exacta de cada uno de los árboles. El número de pies por hectárea correspondió a la suma de todos los factores de expansión. El diámetro normal se calculó como la semisuma de los dos diámetros perpendiculares medidos a 130 cm del suelo (“Dn1” y “Dn2” en IFN3). El área basimétrica (G) se calculó a partir de la suma de todas las áreas basal individuales multiplicadas por sus respectivos factores de expansión. El diámetro cuadrático medio (Dg) se calculó a partir del número de pies total y del área basimétrica. El volumen total y por productos se estimó con la ecuación propuesta por RODRÍGUEZ (2010) e incluida en cubiFOR ([www.cesefor.com/cubi-for](http://www.cesefor.com/cubi-for)) mientras que las distintas fracciones de biomasa se estimaron a partir de las ecuaciones propuestas por MONTERO et al. (2005). El IFN no proporciona de forma directa la altura dominante de la parcela, por lo que se calculó siguiendo dos metodologías distintas: a) Modificación de la altura dominante de Assman, en la que se considera la media de alturas de los 100 árboles más gruesos por hectárea y, b) la modificación de la altura de HAMILTON et al. (1981) propuesta por BENGUA (1999), en la que se define la altura dominante como la altura del árbol más alto en una parcela de 100 m<sup>2</sup>, debido a su facilidad de medición. Finalmente, para caracterizar la competencia en cada una de las parcelas se calcularon los tres principales índices de competencia a nivel de parcela; el índice de Reineke (SDI), el índice de Hart (IH) y el índice de Curtis (IC).

### Tipologías Forestales

Se utilizaron las tipologías elaboradas por el Conseil Regional d'Alsace, adaptando sus límites a las condiciones de crecimiento y gestión de la zona de Estudio. Estas tipologías están basadas en inventarios de parcelas ópticas a partir de mediciones del área basimétrica con dendrómetro. La mayoría de las propuestas de tipologías, la estructura de edades del bosque se representa por clases diamétricas de troncos o fustes finos, medios, gruesos y muy gruesos (BEBI et al., 2001; REQUE 2004; ROIG et al., 2007; REQUE et al., 2007). A partir del conocimiento experto se detectó que manteniendo la estructura original de la tipología y sólo modi-

ficando los límites entre las distintas clases de tamaño se obtenía una herramienta adaptada a la zona de estudio. Para este estudio se definieron categorías a partir de la plasticidad de la masa y de su valor comercial. Se consideró que una masa era de plasticidad elevada aquella en la que si se realiza un tratamiento selvícola éste tiene una rápida respuesta, mientras que se consideró una masa de plasticidad baja a aquella en la que no se aprecian los efectos de los tratamientos. Los troncos finos fueron aquellos con un diámetro normal (*d*) igual o inferior a 15 cm, los troncos medios, con un *d* igual o inferior a 30 cm y finalmente los troncos gruesos aquellos que presentaban un *d* superior a 30 cm.

En la Figura 2 se muestra la clave para identificar los 12 tipos resultantes de la tipología. Para ella se ha definido un código de dos dígitos en donde el primer dígito hace referencia a la clase de tamaño que presenta mayor proporción de área basimétrica (1 para los árboles finos, 2 para los medianos y 3 para los gruesos) 0 en el caso en que la masa presente una estructura irregular el código inicial será el 5. El segundo dígito indica la clase de tamaño que aporta la segunda mayor importancia en área basimétrica, aunque si ésta es de muy baja importancia se duplica el primer código. Estas TF se agruparon a su vez en tres clases de plasticidad (Alta en amarillo, Media en verde y Baja en rojo), más los tipos de masa irregulares (en azul).

### Inventario Forestal basado en el relascopio: ecuaciones de predicción

Se planteó la estimación de las principales variables de masa a partir de sencillas mediciones en campo. Se evaluaron dos opciones: (i) medición única del área basimétrica (separada por clases de tamaño) y, (ii) medición del área basimétrica por tamaños y de la altura dominante (definida como altura de HAMILTON et al., 1981). En todos los casos, a partir de las medidas realizadas en campo se estimó mediante ajustes no lineales, siempre para las distintas clases de tamaño, el número de pies (N), el volumen comercial (V) la biomasa aérea (W) y para el global de la masa el diámetro cuadrático medio (Dg) siguiendo las siguientes ecuaciones simultáneas:

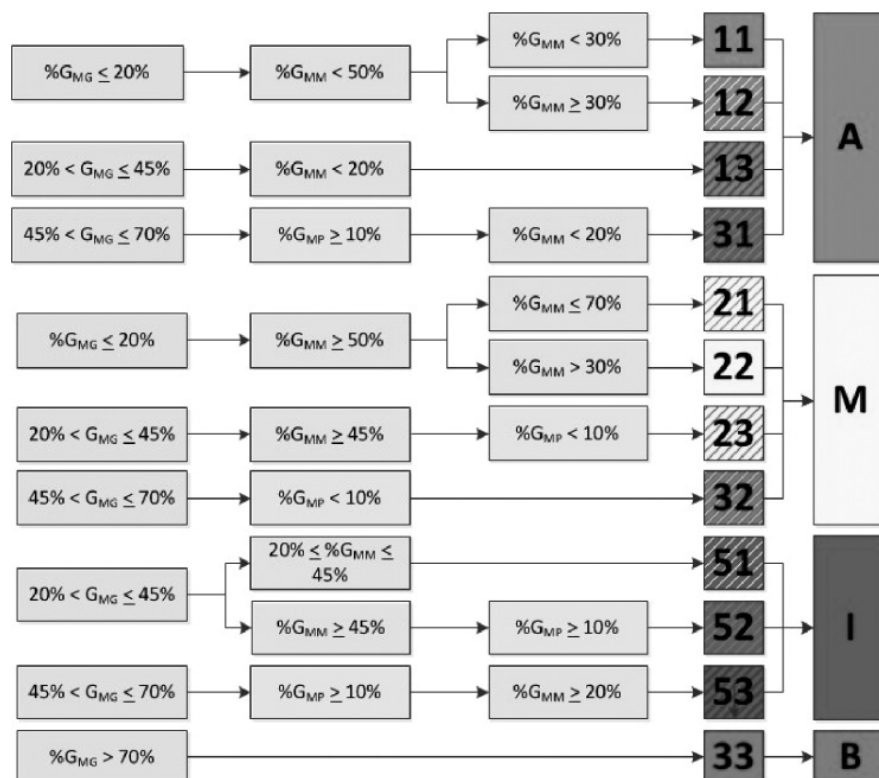


Figura 2. Clave de identificación de los distintos tipos de masa según plasticidad

$$N_p = b0p \cdot (G_p^{b1p}) \cdot H^{b2}$$

$$N_m = b0m \cdot (G_m^{b1m}) \cdot H^{b2}$$

$$N_g = b0g \cdot (G_g^{b1g}) \cdot H^{b2}$$

$$N = [b0p \cdot (G_p^{b1p}) \cdot H^{b2}] + [b0m \cdot (G_m^{b1m}) \cdot H^{b2}] + [b0g \cdot (G_g^{b1g}) \cdot H^{b2}]$$

$$Dg = \sqrt{\frac{40000 \cdot G}{\pi \cdot [b0p \cdot (G_p^{b1p}) \cdot H^{b2}] + [b0m \cdot (G_m^{b1m}) \cdot H^{b2}] + [b0g \cdot (G_g^{b1g}) \cdot H^{b2}]}}$$

$$V_p = b3p \cdot (G_p^{b4p}) \cdot H^{b5}$$

$$V_m = b3m \cdot (G_m^{b4m}) \cdot H^{b5}$$

$$V_g = b3g \cdot (G_g^{b4g}) \cdot H^{b5}$$

$$V = [b3p \cdot (G_p^{b4p}) \cdot H^{b5}] + [b3m \cdot (G_m^{b4m}) \cdot H^{b5}] + [b3g \cdot (G_g^{b4g}) \cdot H^{b5}]$$

$$W_p = b6p \cdot (G_p^{b7p}) \cdot H^{b8}$$

$$W_m = b6m \cdot (G_m^{b7m}) \cdot H^{b8}$$

$$W_g = b6g \cdot (G_g^{b7g}) \cdot H^{b8}$$

$$W = [b6p \cdot (G_p^{b7p}) \cdot H^{b8}] + [b6m \cdot (G_m^{b7m}) \cdot H^{b8}] + [b6g \cdot (G_g^{b7g}) \cdot H^{b8}]$$

en donde Np, Nm, Ng, y N son el número de pies de madera pequeña, mediana, gruesa y total, respectivamente. Vp, Vm, Vg, y V es el volumen maderable de los pies pequeños, medianos, gruesos y totales, respectivamente. Wp, Wm, Wg, y W es la biomasa aérea de los pies pequeños, medianos, gruesos y totales, respectivamente. Dg es el diámetro cuadrático medio, H es la altura dominante (sólo en el caso de los ajustes que tengan en cuenta la altura) y b0...b8 son los parámetros a estimar por el modelo.

### Elaboración de modelos selvícolas a la carta: DMDs en masas regulares

Los DMDs son modelos estáticos de masa en los que se representa gráficamente la relación entre producción, densidad y mortalidad para los distintos estados de desarrollo de la masa (NEWTON & WEETMAN, 1994). Su utilidad básica radica en que permite realizar de una forma rápida y sencilla la comparación entre diferentes alternativas selvícolas de claras considerando diferentes propósitos (producción de madera de unas determinadas dimensiones, minimizar el tiempo requerido para un objetivo específico, etc.).

La estructura básica de un DMD está compuesta por dos ecuaciones y un índice de caracterización de la densidad. La caracterización del nivel de densidad del rodal se realiza mediante índices que relacionan el tamaño de un árbol medio representativo, con la densidad expresada en número de pies por hectárea. En este trabajo se utilizó el índice de Hart-Becking. Las ecuaciones planteadas habitualmente tienen la siguiente formulación:

$$Dg = b0 \cdot N^{b1} \cdot H^{b2}$$

$$V = b3 \cdot Dg^{b4} \cdot H^{b5} \cdot N^{b6}$$

$$W = b7 \cdot Dg^{b8} \cdot H^{b9} \cdot N^{b10}$$

En donde Dg es el diámetro cuadrático medio, N el número de pies, H la altura dominante, V el volumen maderable, W la biomasa y b0....b10 son los parámetros a estimar por el modelo.

### Ajuste, diagnosis y validación de los modelos elaborados

En todos los casos las ecuaciones no lineales partieron del ajuste de cada uno de los submodelos (N, V, W y Dg) individualmente con el objetivo de seleccionar la mejor de las formas y obtener buenos estimadores iniciales de los parámetros. Posteriormente, se ajustaron los modelos como un sistema de ecuaciones simultáneas bajo la técnica de regresión NSUR (BORDERS, 1989). El análisis se realizó con el paquete estadístico SAS con el procedimiento MODEL del módulo ETS (SAS INSTITUTE INC., 2010).

En todos los casos, para evaluar la bondad de ajuste se analizaron gráfica y numéricamente sus residuos, es decir la diferencia entre el valor observado y el valor predicho, y se calcularon los siguientes estadísticos (VANCLAY, 1994): el error cuadrático medio (mse) que analiza la precisión de las estimaciones, y el coeficiente de

Estructura	Plasticidad		N	Dg(cm)	H(m)	V(m <sup>3</sup> /ha)	W(t/ha)	IH	n
Mixta	Alta	Media	860	11,4	8,6	34,1	29,9	56,9	56 49%
		Min.	95	8,0	4,0	3,4	4,0	18,1	
		Max.	2.774	16,6	14,2	136,7	94,7	135,1	
	Media	Media	602	19,2	11,9	77,5	62,2	54,1	39 34%
		Min.	74	14,0	6,0	5,1	5,6	15,8	
		Max.	1.669	29,9	18,0	248,1	187,3	188,5	
	Baja	Media	171	36,0	16,9	95,5	93,4	71,5	7 6%
		Min.	72	21,8	6,0	40,7	32,8	28,1	
		Max.	278	48,9	36,0	220,9	240,3	107,5	
	Irregular	Media	829	16,8	12,1	95,9	74,4	40,6	12 11%
		Min.	184	12,0	5,0	12,9	12,3	19,1	
		Max.	1.887	23,0	20,0	168,6	139,1	91,7	
Pura	Alta	Media	1.001	11,1	8,4	40,4	35,9	54,9	119 59%
		Min.	132	7,8	4,0	3,4	4,1	15,5	
		Max.	3.119	23,2	16,9	267,9	199,3	153,9	
	Media	Media	458	18,9	10,8	57,8	47,2	68,3	60 30%
		Min.	71	11,8	4,1	5,7	5,6	15,4	
		Max.	1.807	28,8	19,1	245,1	188,4	176,3	
	Baja	Media	354	28,2	13,4	103,4	80,0	55,2	7 3%
		Min.	71	19,8	9,8	27,2	20,5	32,7	
		Max.	602	34,2	16,2	153,1	121,0	98,7	
	Irregular	Media	614	17,8	11,1	73,3	58,7	56,2	17 8%
		Min.	78	12,7	5,0	12,6	11,6	21,4	
		Max.	1.395	24,3	22,0	222,0	172,0	125,5	

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de las principales variables de masa de las parcelas del IFN3 de León, clasificadas por plasticidad, basándose en los resultados de su TF. n = número de parcelas y porcentaje sobre el total en cada Estructura

determinación ajustado ( $R^2$ ) que informa sobre la variabilidad explicada por el modelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Tipologías Forestales

Se clasificaron todas las parcelas de IFN3 según su TF y se calcularon las principales variables de masa agrupadas por TF y por plasticidad. En la Tabla 1 se analiza el número de pies, el área basimétrica, el diámetro cuadrático medio, la altura dominante, el volumen, la biomasa aérea, el incremento anual de volumen con corteza y el índice de Hart para cada las TF agrupadas por plasticidad. En la Figura 3 se muestra la distribución de las TF (clasificadas por plasticidad) agrupadas por estratos del IFN3.

Las tipologías más abundantes tanto en masas mixtas como puras son la 12 y la 21, de plasticidad alta y media, respectivamente. Estas TF se corresponden con una proporción de área basimétrica de maderas gruesas menor o igual

del 20% y con una proporción del área basimétrica de la madera mediana entre el 30% y el 50%, para la TF 12 y entre el 50% y el 70% para la TF 21. En el caso de las masas mixtas, estos resultados corresponden en el caso de la TF12 a masas con una media de 856 pies·ha<sup>-1</sup>, un Dg de 11,3 cm, una altura dominante de 8,5 m, un volumen medio por hectárea de 33,6 m<sup>3</sup> y una biomasa aérea media de 29,6 t, mientras que en el caso de la TF21, corresponde a masas con una media de 652 pies·ha<sup>-1</sup>, un Dg de 17,4 cm, una altura dominante de 11,4 m, un volumen medio por hectárea de 68,8 m<sup>3</sup> y una biomasa aérea media de 54,0 t. En el caso de las masas puras, estos resultados corresponden en el caso de la TF12 a masas con una media de 1.003 pies·ha<sup>-1</sup>, un Dg de 10,8 cm, una altura dominante de 8,2 m, un volumen medio por hectárea de 36,5 m<sup>3</sup> y una biomasa aérea media de 33,1 t, mientras que en el caso de la TF21, corresponde a masas con una media de 488 pies·ha<sup>-1</sup>, un Dg de 17,0 cm, una altura dominante de 10,2 m, un volumen medio por hectárea de 45,8 m<sup>3</sup> y una biomasa aérea media de 38,6 t.

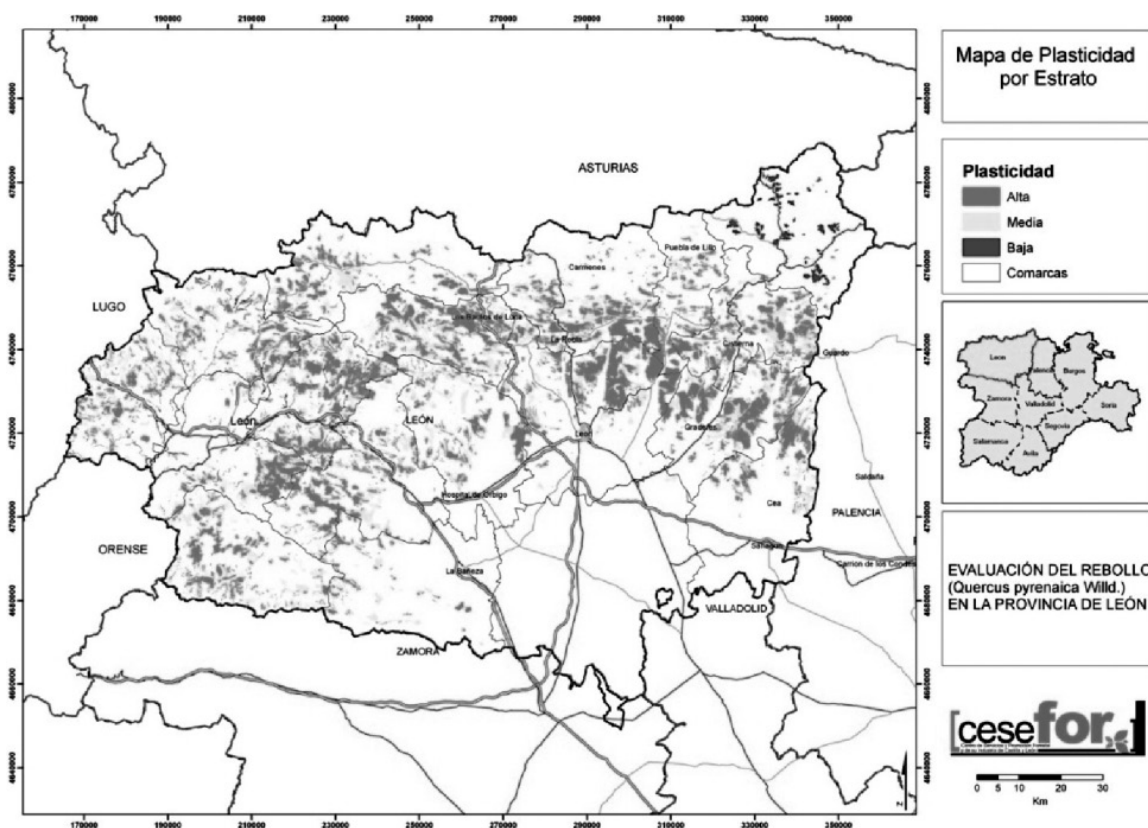


Figura 3. Distribución de los estratos del IFN3 de rebollo en León clasificados según plasticidad

### Inventario Forestal basado en el relascopio: Ecuaciones de predicción

En todos los casos siempre los parámetros fueron significativos con un nivel de confianza del 95%. Los resultados de diagnosis en función de la composición de la masa (mixta y pura) para todos los sistemas de ecuaciones ajustados se muestran en la Tabla 2.

La bondad de ajuste obtenida tanto en las masas mixtas como en las puras es muy buena ( $R^2$  entre 0,8 y 0,97), destacando una precisión algo mayor (MSE medio alrededor de un 30% menor) en las masas puras. En masas puras, la inclusión de H supone una mejora de media de alrededor del 40% (excepto para estimar el número de pies grueso y el diámetro cuadrático medio), sin embargo, en masas mixtas puede llegar a ser perjudicial aun-

que nunca a nivel global pero si por clases de tamaños. Esto puede deberse a que la H representa sólo al estrato dominante, normalmente formado por pino, por lo que se debería o no utilizar la altura o caracterizar la altura de los distintos estratos.

### Nuevos modelos selvícolas: elaboración de diagramas de manejo de densidad

En todos los casos siempre los parámetros fueron significativos con un nivel de confianza del 95%. Los resultados de ajuste y diagnosis se muestran en la Tabla 3.

En la Figura 4 se muestran un diagrama de manejo para definir un modelo de gestión basado en la resultante de biomasa. Este tipo de herramientas, a diferencia de las tablas de producción, no presupone ninguna evolución de la densidad,

Variable	Dependiente del Área Basimétrica				Dependiente de AB y H				% de mejora del MSE al incluir la H	
	Mixtas		Puras		Mixtas		Puras		Mixtas	Puras
	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	$\Delta$ MSE (%)	
Np	17.205,6	0,92	20.196,6	0,94	16.287,3	0,93	1.5425,0	0,96	5,30	23,60
Nm	4.862,4	0,85	3.267,9	0,86	4.513,7	0,86	2.769,1	0,88	7,20	15,30
Ng	215,5	0,78	144,8	0,82	264,1	0,73	147,8	0,82	-22,60	-2,10
N	12.298,0	0,96	14.995,8	0,96	12.227,7	0,96	12.624,3	0,97	0,60	15,80
Vp	15,5	0,94	32,5	0,92	25,8	0,90	10,6	0,97	-66,50	67,40
Vm	43,7	0,96	34,0	0,95	48,6	0,96	10,1	0,98	-11,20	70,30
Vg	94,5	0,91	24,4	0,96	80,6	0,92	18,6	0,97	14,70	23,80
V	202,4	0,93	129,3	0,95	145,3	0,95	41,7	0,98	28,20	67,70
Wp	9,2	0,95	9,9	0,97	8,7	0,95	2,9	0,99	5,40	70,70
Wm	26,5	0,96	10,5	0,97	20,7	0,97	3,1	0,99	21,90	70,50
Wg	81,4	0,87	51,2	0,97	86,4	0,86	48,6	0,88	-6,10	5,10
W	146,9	0,92	42,6	0,97	98,4	0,95	14,5	0,99	33,00	66,00
Dg	19,4	0,82	33,4	0,72	21,3	0,80	36,1	0,70	-9,80	-8,10

Tabla 2. Diagnosis de los modelos evaluados para predecir variables en el IF

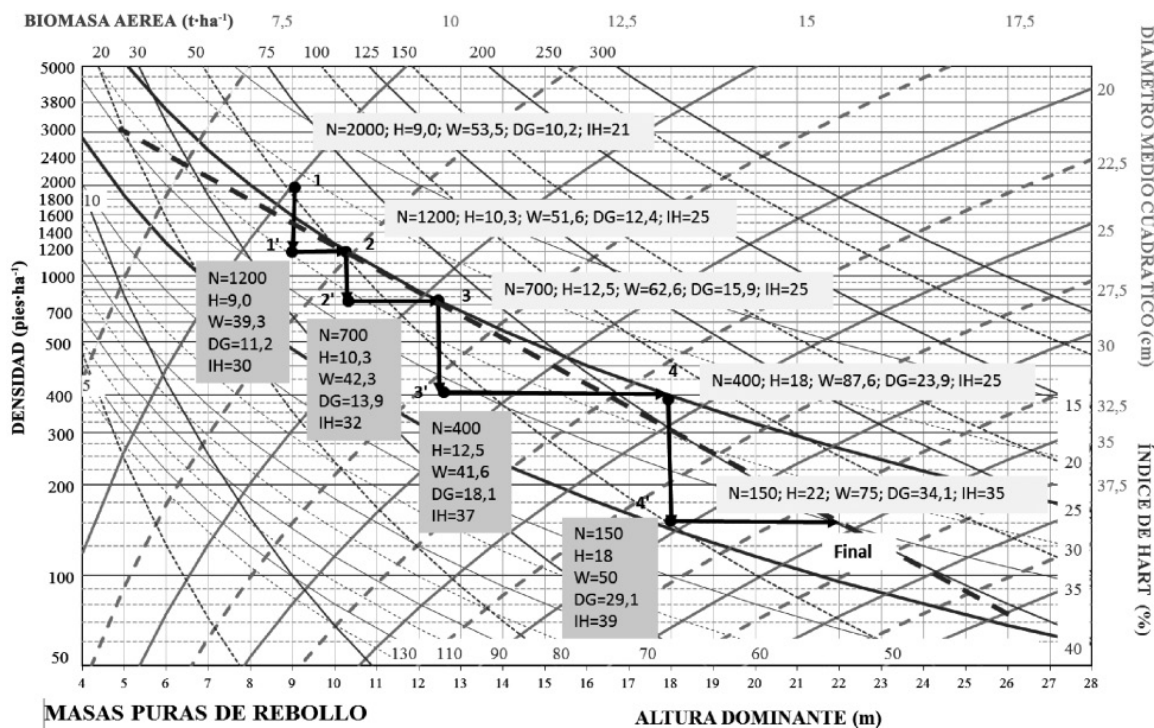
Composición	Ecuación	MSE	R <sup>2</sup>
Pura	$Dg=9,875009 \cdot N^{-0,2154} \cdot H^{0,751405}$	5,95	0,74
	$V=0,000062 \cdot Dg^{1,9931} \cdot H^{0,813241} \cdot N^{0,964676}$	23,63	0,98
	$W=0,000098 \cdot Dg^{1,993473} \cdot H^{0,516117} \cdot N^{0,981179}$	7,19	0,99
Mixta	$Dg=15,1724 \cdot N^{-0,26379} \cdot H^{0,726288}$	13,90	0,74
	$V=0,000089 \cdot Dg^{2,052939} \cdot H^{0,427134} \cdot N^{1,029678}$	204,1	0,93
	$W=0,000143 \cdot Dg^{1,989494} \cdot H^{0,507172} \cdot N^{0,92526}$	111,4	0,94

Tabla 3: Ajuste y diagnosis de los modelos para elaborar el DMD



Var. de entrada		Masa principal antes de la clara			Masa extraída				Masa principal después de la clara			Masa total		
t*	H	N	G	W	N	G	W	Wac	N	G	W	Wt	CWm	CWc
20	9	2.000	16,3	53,5	800	4,5	14,2	14,2	1.200	11,8	39,3	53,5	2,7	--
30	10,3	1.200	14,5	51,6	500	3,9	9,3	23,5	700	10,6	42,3	65,8	2,2	1,2
45	12,5	700	13,9	62,6	300	3,6	21	44,5	400	10,3	41,6	86,1	1,9	1,4
100	18	400	17,9	87,6	250	8,0	37,6	82,1	150	10,0	50	132,1	1,3	0,8
150	22	150	13,7	75	150	13,7	75	157,1	0	0,0	0	157,1	1,0	0,5

**Tabla 4.** Tabla generada a partir del DMD para el esquema de claras de la figura 4, empleando un formato similar al de las tablas de producción y suponiendo una calidad II de la curva de calidad de TORRE (1994). t\*: edad aproximada estimada de la curva de calidad; Wac es la biomasa aérea acumulada; Wt es la biomasa total producida, CWm es el crecimiento medio en biomasa y CWc es el crecimiento corriente en biomasa



**Figura 4.** Esquema de claras (escalera en color negro) representado sobre el DMD que predice la biomasa aérea en masas puras de rebollo, a partir de la altura dominante, del número de pies y del diámetro cuadrático medio. La línea discontinua morada indica una Norma de Silvicultura genérica, aplicada normalmente en la provincia de León, en donde  $\ln Y = a \cdot bH$ . Las líneas sólidas y gruesa de color verde indican un límite superior e inferior de espaciamiento coherente, que incluye a la anterior norma selvícola

sino que es el propio usuario quien fija su esquema de claras y lo dibuja sobre el gráfico, leyendo directamente en él los valores de las variables que le puedan interesar. Además, los DMD son independientes de la edad del rodal, lo que es una ventaja importante en el caso de rodales no coetáneos. De todas formas si se posee una curva de calidad, asumiendo una calidad de estación dada se puede asignar edad a cada una de las intervenciones (Tabla 4). Por otra parte se ha incluido una Norma

de Silvicultura genérica y ampliamente aceptada en Francia la cual relaciona el logaritmo del número de pies de forma lineal con la altura dominante.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Comisión Territorial de Mejoras de León. Los autores quieren mostrar su agradecimiento a

Juan Gabriel Álvarez por facilitarnos la plantilla para elaborar los DMDs.

## BIBLIOGRAFIA

- ADAME, P.; DEL RÍO, M. & CAÑELLAS, I.; 2010. Modeling individual-tree mortality in Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) stands. *Ann. For. Sci.* 67(8): 810.
- ADAME, P.; DEL RÍO, M. & CAÑELLAS, I.; 2008a. A mixed nonlinear height-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecol. Manage.* 256(1): 88-98.
- ADAME, P.; HYNYNEN, J.; CAÑELLAS, I. & DEL RÍO, M.; 2008b. Individual-tree diameter growth model for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppices. *Forest Ecol. Manage.* 255, 1011-1022
- BEBI, P.; KIENAST, F. & SCHOENENBERGER, W.; 2001. Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests' dynamics and protective function. *Forest Ecol. Manage.* 145, 3-14.
- BENGOA, J.; 1999. Estimación de la altura dominante de la masa a partir de la altura dominante de parcela. Ventajas frente a la altura dominante de Assmann. *Inv. Agraria; Sist. Rec. For.* Fuera de Serie 1: 311-321.
- BORDERS, B.E.; 1989. System of equations in forest stand modelling. *For. Sci.* 35: 548-556.
- CADAHÍA, E.; FERNÁNDEZ, B.; POVEDA, P. Y SANZ, M.; 2008. Utilización de *Quercus pyrenaica* Willd. de Castilla y León en el envejecimiento de los vinos. Comparación con roble francés y americano. *Monografías INIA: Serie Forestal* 18: 1-175.
- CARVALHO, J.P. & PARRESOL, B.R.; 2003. Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecol. Manage.* 179: 269-276.
- CARVALHO, J.P. & PARRESOL, B.R.; 2005. A site model for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) stands using a dynamic algebraic difference equation. *Can. J. For. Res.* 35: 93-99.
- CRUZ, P.; FERNÁNDEZ, A. Y REQUE, J.A.; 2009. Propuesta tipológica forestal para los bosques de *Quercus pyrenaica* de la comarca del Bierzo del noroeste de España, empleando análisis multivariante. *Bosque (Valdivia)* 30(3): 180-191.
- DEAN, J.T. & BALDWIN, V.C.; 1993. *Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations.* USDA Forest Service, Southern Forest Experimental Station, Res. Pap. SO 275.
- DIÉGUEZ-ARANDA, U.; ROJO ALBORECA, A.; CASTEDO-DORADO, F.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; BARRIO-ANTA, M.; CRECENTE-CAMPO, F.; GONZÁLEZ GONZÁLEZ, J.M.; PÉREZ-CRUZADO, C.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; BALBOA-MURIAS, M.A.; GORGOSO VARELA, J.J. Y SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, F.; 2009. *Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia.* Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- GOUTTE, C.; 1997. Note on free lunches and cross-validation. *Neural Computation* 9: 1211-1215
- HAMILTON, G. J.; CHRISTIE, J. M. Y EDWARDS, J.; 1981. *Yield models for forest management.* Forestry Commission Booklet 48.
- JIMÉNEZ SANCHO, P.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, P. M.; MARTÍN ALBERTOS, S. Y GIL SÁNCHEZ, L.; 1998. *Regiones de procedencia de Quercus pyrenaica W., Quercus faginea Lam. y Quercus canariensis Willd.* Servicio de Material Genético, DGCONA. Madrid.
- LONG, J.N.; 1985. A practical approach to density management. *For. Chron.* 23: 23-26.
- MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R. Y MUÑOZ, M, 2005. Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. *Monografías INIA: Serie forestal* 13: 1-270.
- NEWTON, P.F. & WEETMAN, G.F.; 1994. Stand density management diagram for managed black spruce stands. *For. Chron.* 70: 65-74.
- NEWTON, P.F.; 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecol. Manage.* 98: 251-265.
- NEWTON, P.F.; 2003. Yield prediction errors of a stand density management program for black spruce and consequences for model improvement. *Can. J. For. Res.* 33: 490-499.
- REQUE, J.; SARASOLA, M.; GYENGE, M. Y FERNÁNDEZ, M.; 2007. Caracterización silvícola de ñirantales del norte de la Patagonia

- para la gestión forestal sostenible. *Bosque* 28(1): 33-45.
- REQUE, J.; 2004. *Estructura, dinámica y selvicultura de los bosques de roble albar (Quercus petraea (Matts.) Liebl.) en la Cordillera Cantábrica meridional*. Tesis doctor. Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, Universidad de Valladolid. Palencia.
- RODRÍGUEZ, F.; 2010 *Ecuaciones de volumen comercial para las principales especies maderables de Castilla y León*. Disponible en [www.cesefor.com/cubifor](http://www.cesefor.com/cubifor) (último acceso el 15 de abril de 2010)
- ROIG, S.; DEL RÍO, M.; RUÍZ-PEINADO, R. Y CAÑELLAS, I.; 2007. Tipología dasométrica de los rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.) de la zona centro de la Península Ibérica. *En: Los sistemas forrajeros: entre la producción y el paisaje. En: Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos: 535-542*. Vitoria.
- SERRADA, R.; GONZÁLEZ, I.; LÓPEZ, C.; MARCHAL, B.; SAN MIGUEL, A. Y TOLOSANA, E.; 1993. *Tipificación dasométrica de los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.) de la Comunidad de Madrid. Alternativas silvo-pastorales. Diseño de un Plan Experimental. Doc. no publicado*. Agencia de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. Madrid.
- TORRE, M.; 1994. *Degradación inducida por algunas prácticas agrarias tradicionales. El caso de los rebollares (Quercus pyrenaica Willd.) de la provincia de León*. Tesis Doctoral. ETS Ingenieros de Montes. UPM. Madrid.
- VANCLAY, J.K.; 1994. *Modelling forest growth and yield. Applications to Mixed Tropical Forest*. CABI Publishing. Wallingford, UK.