

Comunicación invitada

MODELOS DE PRODUCCIÓN DE MADERA SÓLIDA EN PLANTACIONES DE EUCALYPTUS GLOBULUS DE GALICIA

Nutto, L.; Touza Vázquez, M. C. *

Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos da Madeira de Galicia (CIS Madeira);
Avda. da Galicia, N° 5, Parque Tecnológico da Galicia, San Cibrao das Viñas; E-32901
Ourense, Spain;

*Autores para la correspondencia: mtv@cismadera.com

Boletín del CIDEU 2: 37-50 (2006)
ISSN 1885-5237

Resumen

El objetivo de este trabajo es establecer las interacciones existentes entre crecimiento diametral, crecimiento en altura y la dinámica de poda natural de *Eucalyptus globulus* con el objetivo de evaluar la eficiencia de distintas opciones de gestión forestal para producir madera de alta calidad. Para ello se ha desarrollado un modelo de crecimiento basados en el árbol individual. La toma de muestras comprende más de 900 *Eucalyptus globulus* medidos en diferentes localizaciones de Galicia (España). En esos árboles se ha encontrado una elevada correlación significativa entre el diámetro normal y el diámetro de la copa. El modelo basado en el ancho de copa permite calcular el espacio vital requerido por un árbol para alcanzar un diámetro predefinido a una cierta edad. Una vez conocido, es también posible calcular el número de árboles por hectárea así como el momento y la intensidad de las claras. Se ha podido comprobar que los eucaliptos orientados a la producción de madera aserrada en rotaciones cortas tienen que podarse y, dada la tendencia de los árboles a incluir el tocón de las ramas muertas, es recomendable realizar la poda mientras las ramas todavía están verdes. Para optimizar la producción de madera limpia, es esencial conocer el impacto de los tratamientos silvícolas y condiciones de crecimiento en el proceso de formación de la base de la copa. Se ha encontrado que la altura de la base de copa viva muestra una buena correlación con el diámetro normal, la altura del árbol y la edad. Empleando estas tres variables se ha desarrollado un modelo multivariable para predecir la altura de la primera rama viva, que puede ser de utilidad para optimizar el momento y la intensidad de las claras para producir madera de sierra de eucalipto en plantaciones de corta rotación.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, silvicultura, madera aserrable, podas, claras.

Summary

Models of wood production in *E. globulus* plantations at Galicia (Spain)

The study aims to point out the interactions between diameter and height growth and the self-pruning dynamics of *Eucalyptus globulus* in order to evaluate different management regimes according to their efficiency for high value timber production. Therefore a growth model for individual trees has been developed. The database contains over 900 trees of *Eucalyptus globulus* measured at different sites in Galicia / Spain. For these trees a significant relationship between diameter at breast height (d1,3) and crown diameter calculated from this area was found. The crown width model enables us to calculate the growing space needed by a tree to get a pre-defined diameter at a given age. Knowing this, it is also possible to calculate the number of trees/ha as well as time and intensity of thinning interventions. It could be shown that eucalypt grown for sawlogs in short rotations have to be pruned. Since the trees tend to include dead branches partly into the bole, it is recommendable to prune branches when still green. In order to optimize production of knot free timber, it is essential to know the impact of silvicultural treatments and growth conditions on the process of living crown base recession. It was found that height of living crown base shows good correlations with d1,3, tree height and age. Using these 3 variables a multivariate model for predicting height of the first living branch has been developed, which may be helpful to optimize time and intensity of pruning for eucalypt sawlog production in short rotation plantations.

Keywords: *Eucalyptus globulus*, silviculture, sawlog, pruning, thinning.

Introducción

Las plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Portugal y la región de Galicia (España) ocupan aproximadamente 1 millón de hectáreas orientadas a la producción de madera de trituración para obtener pasta de celulosa. Los modelos de crecimiento para gestionar estas plantaciones emplean parámetros medios de la masa forestal, que permiten optimizar de forma sencilla y eficiente el objetivo de conseguir un elevado volumen de madera.

Sin embargo, en los últimos años se está produciendo en el ámbito mundial un rápido desarrollo de nuevas industrias basadas en el aprovechamiento de la madera sólida de *Eucalyptus* que requieren disponer de madera de calidad. Una estrategia para disponer de este tipo de madera en turnos cortos, sería establecer una gestión forestal donde los árboles con unas características sobresalientes en términos de crecimiento y calidad sean seleccionados a edades tempranas, sucesivamente podados y sus posibilidades de crecimiento optimizadas mediante el clareo del resto de los árboles. Esta estrategia requiere focalizar el objetivo hacia los árboles individuales y disponer de modelos de gestión mucho más flexibles en cuanto a su aplicación práctica.

Para este propósito, los modelos de crecimiento más adecuados están basados en el árbol individual (Pretzsch, 1995), existiendo varias propuestas para gestionar diversas especies forestales desarrolladas por Nutto y Maestri (2002), Seling *et al.* (2001) y Spathelf *et al.* (2000), que predicen varias características de crecimiento de los árboles individuales y las de Nutto y Spiecker (2000) que incorporan una predicción de la calidad de la madera.

Las características más relevantes de los árboles con influencia en la calidad de la

madera destinada a la industria del aserrío o chapa decorativa son el diámetro de las trozas y su nudosidad (Gerrand *et al.*, 1997; Hawley y Smith, 1972). El crecimiento diametral puede incrementarse mediante claras que reduzcan la densidad de la plantación y, con ello, el tiempo necesario para alcanzar un diámetro objetivo. El inconveniente de las claras, particularmente las realizadas a edades tempranas, es la alta probabilidad de retrasar la poda natural de las ramas y la consiguiente depreciación del valor de la madera. En este caso, la realización de podas artificiales es imprescindible para producir madera de calidad en rotaciones cortas.

Crecimiento diametral de los eucaliptos

Las plantaciones de eucaliptos gestionadas de forma intensiva muestran unos elevados crecimientos volumétricos y la pregunta es cómo concentrar esas posibilidades en optimizar el crecimiento diametral de un reducido número de árboles. Dawkins (1963) encuentra, dependiendo de cada especie concreta, una elevada correlación entre el diámetro de la copa y el diámetro del fuste, con independencia de la calidad de la estación, edad y tratamientos forestales. En el mismo año, Smith (1963) concluye que el análisis de dichos datos para cada especie y localidad concreta puede emplearse para conocer los límites silviculturales y biológicos de crecimiento del árbol y sugiere emplear el desarrollo de la copa como indicador de la gestión forestal necesaria para alcanzar un objetivo de producción. En el género *Eucalyptus*, Curtin (1964 y 1970) estableció la relación existente entre el diámetro normal y el desarrollo de la copa en *Eucalyptus obliqua* y Spathelf *et al.* (2000) y Nutto & Maestri (2002) emplearon la variable de diámetro de copa para estimar el crecimiento diametral de varias especies de eucaliptos en Brasil. Al mismo tiempo, el desarrollo

de las ramas y la expansión de la copa tienen una gran influencia en la poda natural de las especie y, por lo tanto, en la calidad de la madera producida (Seling *et al.*, 2001). El objetivo de este estudio es establecer las relaciones existentes entre el diámetro normal ($d_{1,3}$), la altura total del árbol y la dinámica de la poda natural de *Eucalyptus globulus* para poder evaluar la eficacia de distintos modelos de gestión forestal orientados a producir madera sólida de calidad.

Poda natural de los eucaliptos

Diversos autores (Bedenkamp *et al.*, 1980; Henskens *et al.*, 2001; Montagu *et al.*, 2003; Schönau, 2002; Wardlaw and Neilsen, 1999) recomiendan la poda artificial de los eucaliptos cuando se desea producir madera de calidad en turnos de corta reducidos. Asimismo, la poda de ramas muertas en eucaliptos no produce resultados adecuados porque las ramas no se desprenden completamente, sino que dejan un pequeño tocón en la base que suele ser envuelto por la corteza y absorbido durante el posterior crecimiento diametral del árbol. Este proceso produce un desvío de las fibras y con frecuencia la formación de bolsas de una sustancia gomosa denominada kino (Bredenkamp *et al.*, 1980; Stackpole, 2001; Wardlaw & Neilsen, 1999).

Para optimizar la producción de madera de calidad, es necesario conocer el impacto de los distintos tratamientos silvícolas sobre el proceso de poda natural. Para muchas especies, es un hecho conocido que el crecimiento diametral del fuste puede expresarse como una función lineal del proceso de expansión de la copa. Por estos motivos, un rápido crecimiento diametral aparece vinculado a una rápida expansión de la copa que a su vez, requiere de grandes ramas que permitan sostener un mayor índice foliar. De hecho, existen varios

modelos lineales que describen las relaciones entre el diámetro de las ramas y su longitud para varias especies (Deleuze *et al.*, 1996; Henskens *et al.*, 2001; Nutto, 1997; Nutto *et al.*, 2003). Estos modelos concluyen que las ramas largas requieren diámetros elevados, por lo que un rápido incremento de la superficie de la copa de un árbol tiende a retrasar su proceso de poda natural.

Con estos antecedentes, los objetivos de este estudio son

- 1) Analizar el crecimiento diametral y las relaciones existentes entre la poda natural y varias características morfológicas de la madera de *Eucalyptus globulus*,
- 2) y formular modelos de silvicultura para producir madera de sierra de calidad con esta especie. Por madera de calidad se entiende fustes de un diámetro normal superior a los 40 cm y libre de nudos, al menos, en las trozas inferiores del fuste.

Material y Metodos

Las mediciones para desarrollar el modelo, se han realizado en 22 parcelas de eucalipto situadas en el norte de Galicia, la principal región productora de madera de eucaliptos de España, entre una latitud de 43°9' a 43°32'N y una longitud comprendida entre 7°5' y 8°57' O. Las parcelas se encuentran entre los 50 y 350 m s.n.m., en un clima marítimo-húmedo con una temperatura media anual de 10.3°C y precipitaciones medias comprendidas entre los 1500y 1700 mm/año.

El objetivo general del estudio es formular un modelo de silvicultura para producir madera de sierra con eucalipto, lo que requiere realizar diversas intervenciones (podas y claras) a lo largo de la rotación de la plantación y aumentar el turno de corta en relación al necesario para producir

madera de trituración para obtener pasta de celulosa. Dado que, en la actualidad, no existen parcelas permanentes que reúnan dichos requisitos, se han muestreado diversas parcelas de distintas edades (cada parcela formada por una masa coetánea) que permitan simular las posibilidades de crecimiento.

Para que sean comparables las variables obtenidas en la medición de eucaliptos de distintas edades, es recomendable mantener constante el número de árboles medido en cada parcela con independencia del tamaño de ésta. Tras realizar un análisis de varianza de las variables a medir, se concluyó que un número de 35 árboles por parcela es suficiente para obtener resultados estadísticamente significativos.

Tanto en diversas parcelas de una misma edad, como en árboles de una misma parcela se encontró una gran variabilidad que puede relacionarse con factores como la variabilidad genética, índice de calidad de sitio, densidad de la plantación, etc. Dado que el objetivo de este estudio es modelar el crecimiento de árboles destinados a la industria de sierra, en cada parcela sólo se han medido árboles dominantes y/o codominantes.

En dos de las parcelas se incrementó el número de árboles muestreados hasta 70 para mejorar la representatividad de las clases de edad correspondientes y que no estaban presentes en otras parcelas. En cada una de las parcelas se seleccionó un primer árbol de forma aleatoria, al que se le asignaron unas coordenadas (0/0). Este árbol constituye la referencia para definir la posición del resto de los árboles que se estimó midiendo la desviación desde el norte y su distancia al árbol de referencia.

En cada árbol seleccionado en cada parcela se midieron las siguientes variables:

- diámetro normal ($d_{1,3}$),
- la altura total,
- la altura de la base de la copa,
- la altura de la primera rama muerta y
- la proyección del área de la copa.

La proyección del área de copa se estimó mediante la medida de su radio en 8 puntos lo que permite obtener una buena exactitud en árboles con copas asimétricas (Röhle, 1986; Spiecker, 1991). Con estos datos se realizaron mapas de distribución de los árboles representando la proyección de sus copas mediante el programa GIS ArcView 3.2. (Figura 1).

En total fueron medidos 918 árboles comprendiendo una amplia variación de edades, condiciones silvícolas y calidades de sitio (Tabla 1). También se incluyeron en el estudio árboles con edades superiores a los 40 años (y, por lo tanto, sobrepasando ampliamente los turnos de corta considerados para producir madera de sierra con eucaliptos de crecimiento rápido) que presentaban diámetros normales superiores a los 70 cm. Las mediciones obtenidas en estos árboles fueron incluidas en el modelo para analizar la correlación entre el diámetro y el tamaño de la copa.

También se calculó el máximo crecimiento radial dividiendo el valor medio de los dos árboles de mayor diámetro de cada parcela, por la edad de los árboles.

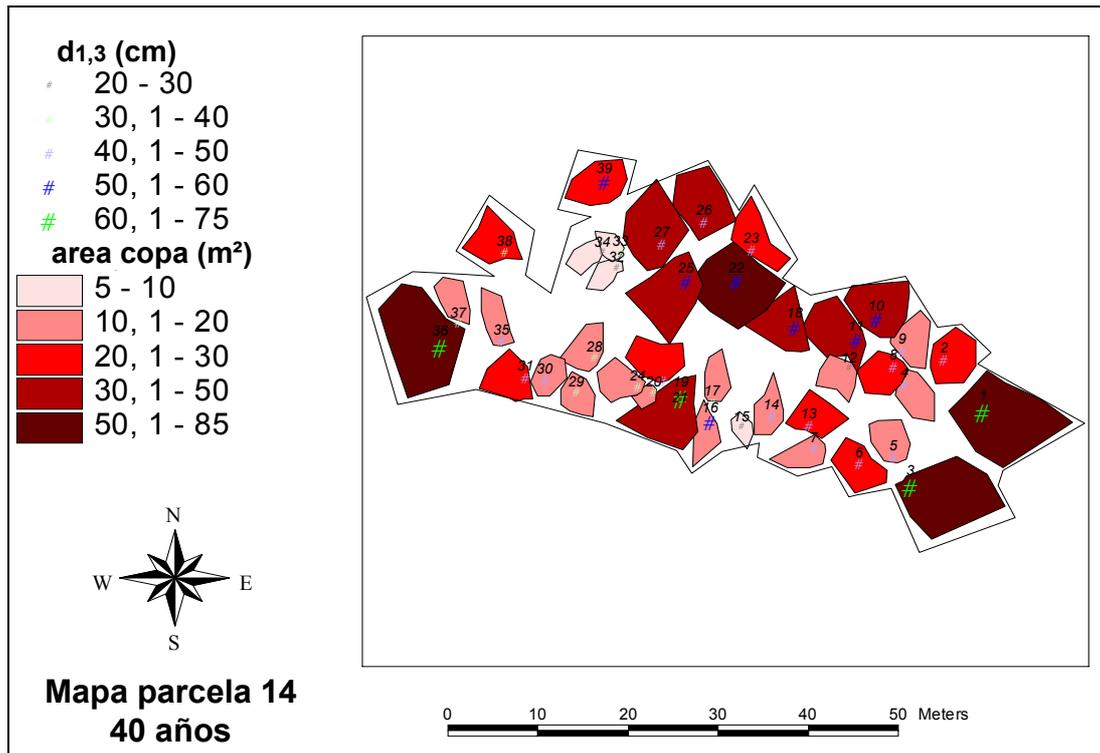


Figura 1. Distribución de las clases diamétricas y área de copa en una parcela.

Tabla 1 : Edad, altura media y diámetro normal medio obtenidos en los árboles muestreados en las distintas parcelas.

Parcela	Edad (años)	Altura (m)	D _{1,3} (cm)
GL_01	12	27,8	23,0
GL_02	21	28,6	22,9
GL_03	23	36,0	31,3
GL_04	25	38,2	32,9
GL_05	28	38,6	63,7
GL_06	6	14,0	10,9
GL_07*	25	38,5	32,1
GL_08	8	19,4	19,7
GL_09	1	2,6	2,1
GL_10	4	9,0	10,4
GL_11	3	10,3	9,6
GL_12	13	20,7	20,5
GL_13	35	28,3	32,3
GL_14	40	33	44,2
GL_15	35	27,7	34,2
GL_16	53	39	58,1
GL_17	17	28,3	26,7
GL_18	10	14,6	13,1
GL_19	4	13,9	8,7
GL_20	3	8,2	7,9
GL_21	3	7,2	6,7
GL_22	40	34,5	46,5

Las variables fueron procesadas mediante el programa Statistical Analysis System (SAS®), empleando el procedimiento de regresión múltiple por pasos (“stepwise procedure”) para seleccionar las variables independientes de los modelos de regresión. Para identificar el mejor modelo se empleó el coeficiente de determinación corregido (R^2_{adj}), la desviación estandar (S_{yx}) y el análisis residual. La relación entre variables se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson (Cohen y Cohen, 1975; SAS INSTITUTE INC., 1992).

Hipótesis de trabajo

Como se comentó anteriormente, el diámetro normal esta linealmente correlacionado con la dimensión de la copa. En consecuencia, la primera hipótesis de trabajo es:

$$cw = f(d_{1,3}, \text{otras variables})$$

donde:

cw = diámetro de la copa

$d_{1,3}$ = diámetro normal

El diámetro de la copa es una variable que determina el espacio vital requerido por el árbol individual (Assmann, 1970), por lo que la expansión de la copa puede emplearse como variable de control para estimar el crecimiento diametral.

La segunda hipótesis de trabajo expresa la limitación del máximo crecimiento radial en función de la calidad de sitio y la edad del árbol.

$$ir_{max} = f(SI, \text{edad})$$

donde:

ir_{max} = incremento radial máximo

SI = calidad de sitio.

La calidad de sitio (SI=Site Index) considerada en este estudio, son los índices de sitio relativos publicados por Fernández (Fernández, 1985). Las tablas de producción de Fernández contienen 5 índices de sitio que se diferencian por su altura dominante a una edad de 10 años y considerando un espaciamiento entre árboles de 3x3 m (SI I=26,4m; II=23,4m; III=20,4m; IV=17,4m; V=14,4m).

La poda natural está fuertemente influenciada por la calidad del sitio, es decir por la altura de crecimiento para una determinada edad. Además, el diámetro normal como indicador de la densidad de la parcela también influye en la poda natural. Por consiguiente, la tercera hipótesis de trabajo se establece como:

$$hcb = f(d_{1,3}, h, \text{edad}) \quad (3)$$

donde:

hcb = altura de la base de la copa;

h = altura total

Resultados

Modelo de diámetro de copa

Existe una elevada correlación de 0.93 ($p < 0.01$) entre la diámetro de la copa y el diámetro normal de los árboles individuales. También la edad muestra un coeficiente de correlación elevado de 0.75. La ecuación del modelo resultante es:

$$cw = e^{0.223 - 0.006 * \text{edad} + 0.0417 * d_{1,3} - 0.000089 * d_{1,3}^2}$$

$$(R^2_{adj}=0.91, N=914),$$

Este modelo permite calcular el área de copa que requiere un árbol para alcanzar un determinado diámetro normal.

Máximo incremento radial

Existe una elevada correlación entre el máximo incremento radial del árbol y las variables calidad de sitio y edad, expresada a través de la ecuación:

$$1/ir_max=0,417+0,0084*edad + 0,102*SI$$

donde:

ir_{max} es el máximo incremento radial
 SI la calidad de sitio (Fernández, 1985);
 $R^2_{adj}=0.74$ ($P<0.05$).

La Figura 2 muestra el efecto de una calidad de sitio 2 y 4 (Fernández, 1985) sobre el incremento radial máximo, la densidad de la parcela y el correspondiente diámetro normal ($d_{1,3}$). Los resultados obtenidos son preliminares y requieren confirmarse sobre una población más amplia.

Con la ecuación del ir_max es posible calcular el diámetro normal máximo que un árbol puede alcanzar a una determinada edad. En la Figura 2 se transformó el

incremento radial máximo en incremento diametral máximo ($id_max = 2 ir_max$), para visualizar con mayor claridad la relación entre la edad y el diámetro normal alcanzable. La Figura muestra como en 20 años y en una calidad de sitio 2, podrían producirse árboles con un $d_{1,3}$ próximo a los 50 cm, mientras que en una calidad de estación 4, el máximo diámetro sería de 40 cm.

Asimismo, como se aprecia en la Figura 1, no toda el área disponible puede ser utilizable por los árboles. Esto es debido a fenómenos de competencia y al efecto del viento que hace que las copas puedan oscilar, golpeándose unas con otras y limitando el espacio aprovechable por los árboles dominantes. Por estos motivos, la fracción de cabida cubierta es otra variable que es necesario considerar para estimar el número de árboles por hectárea. La Figura 3 muestra la fracción de cabida cubierta obtenida en 19 parcelas de distintas edades. Esta variable se inicia con valores muy reducidos y puede llegar a alcanzar valores próximos al 60 % al final del turno de rotación.

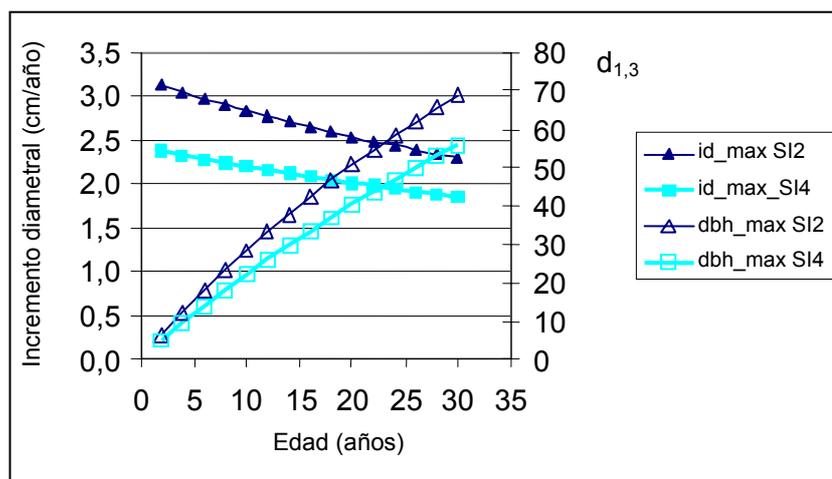


Figura 2. Incremento diametral máximo y evolución del diámetro normal ($d_{1,3}$) con la edad para calidades de sitio (SI) 2 y 4 (Fernández, 1985).

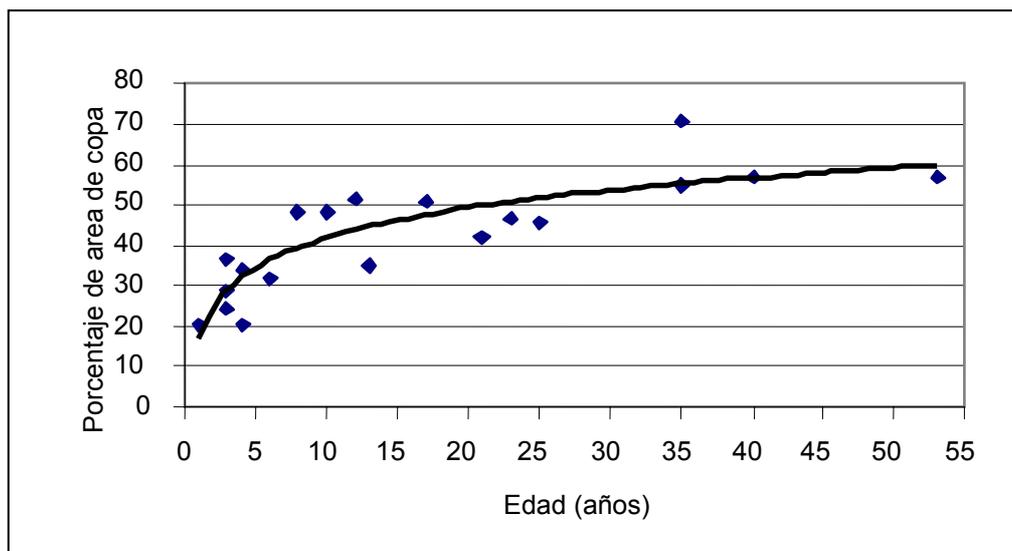


Figura 3. fracción de cabida cubierta a distintas edades.

Los reducidos porcentajes encontrados en Galicia se deben a la elevada competición existente entre árboles de parcelas que no han sido sometidas a gestión forestal. En este tipo de masas hay muchos árboles dominados cuyo espacio vital no ha sido ocupado todavía por los árboles dominantes

próximos. En estudios realizados con otras especies de eucaliptos y en plantaciones clonales son habituales fracciones de cabida cubierta del 70% (Nutto & Maestri, 2002; Spathelf *et al.*, 2000).

El modelo resultante para estimar la fracción de cabida cubierta es:

$$\text{Fracción de cabida cubierta} = 10,614 \cdot \text{LN}(\text{edad}) + 17,421 \quad (r^2=0,74; N=19)$$

Con las ecuaciones obtenidas pueden definirse distintos escenarios para la producción de madera de sierra con eucaliptos. Así, conocido el valor del incremento radial máximo y la edad de la plantación, es posible calcular el máximo diámetro normal alcanzable a una determinada edad. Una vez conocidos estos valores, puede estimarse el área de copa requerida por cada árbol y, en consecuencia, el número de árboles teóricos por hectárea. Asimismo, la última ecuación obtenida permite ajustar, a través de la fracción de cabida cubierta, el área teórica requerida por las copas con la realmente

disponible, obteniendo el número de árboles por hectárea. Calculando los parámetros anteriores para distintas edades y situaciones, es posible simular un crecimiento orientado a la producción de madera aserrada de eucalipto y optimizarlo en función de distintos objetivos económicos y productivos.

Altura de la base de la copa viva

La Figura 4 muestra la posición de la primera rama muerta (no cicatrizada) sobre la altura total del árbol en un total de 918 árboles.

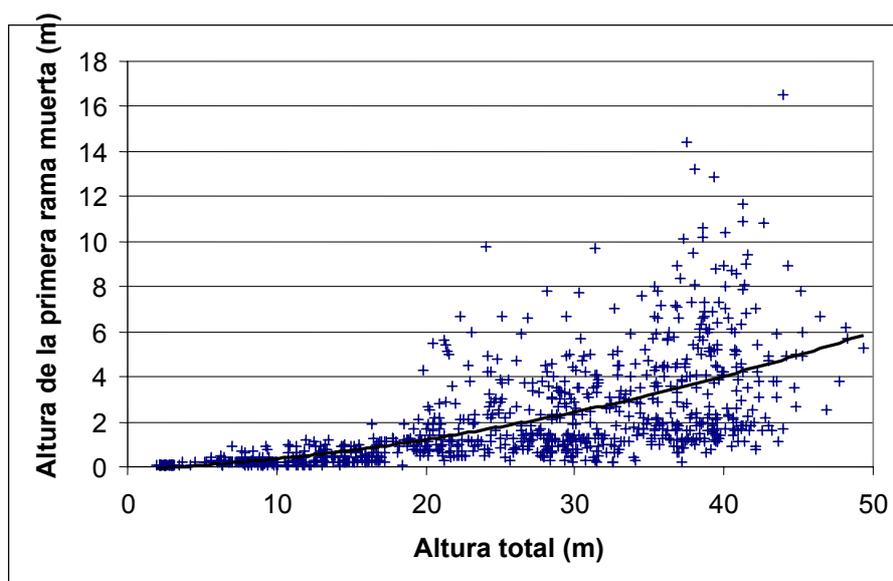


Figura 4. Altura de la primera rama muerta sobre la altura total del árbol.

En la figura se aprecia que sólo a partir de una altura del árbol próxima a los 25 m, sería posible encontrar trozas de más de 2 m, conteniendo madera limpia de nudos.

La ecuación para estimar la altura de la base de la copa viva es:

$$cb = -2,25 - 0,25*d_{1,3} + 0,9*h + 0,39*edad - 0,009*edad^2,$$

donde:

cb es la altura de la base de la copa viva (m)

h es la altura total del árbol (m)

edad del árbol (años)

$d_{1,3}$ es el diámetro normal (cm)

R^2 (ajustada) = 0.92, ($P < 0.0001$)

Discusión

El modelo permite calcular el área de copa necesaria para alcanzar el máximo incremento diametral en una calidad de sitio dada (ir_max model) y, considerando la fracción de cabida cubierta descrita anteriormente, puede estimarse el número de árboles por hectárea en diferentes edades. Asimismo, es posible decidir el

momento y la intensidad de las claras, optimizar el espaciamiento inicial, definir el turno de rotación, el número de árboles de porvenir o el diámetro objetivo. La Tabla 2 muestra como la producción de madera de sierra con *Eucalyptus globulus*, requiere una drástica disminución del número de árboles a lo largo del periodo de rotación y se aproxima a las recomendaciones existentes en Alemania para otras frondosas: *Fraxinus/Acer* 110, *Fagus sylvatica* 100, *Quercus robur* 90, *Prunus avium* 70, (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1997).

Tabla 2. Máximo número de árboles finales por hectárea para diferentes diámetros objetivo y periodos de rotación en una calidad de sitio 2 (Fernández 1985).

Edad rotación (años)	Objetivo (d _{1,3})				
	50 cm	55 cm	60 cm	65 cm	70 cm
20	120	-	-	-	-
22	129	93	-	-	-
24	134	97	71	-	-
26	140	101	74	-	-
28	145	105	77	57	-
30	151	109	80	59	45

A partir de un espaciamiento inicial e incremento radial predefinido, puede predecirse el desarrollo del espacio vital requerido por cada árbol y este valor, combinado con la fracción de cubida cubierta, permite calcular la intensidad y el momento de las claras necesarias para evitar la aparición de fenómenos de competición entre árboles con la consiguiente limitación de su crecimiento diametral.

La Figura 5 muestra la reducción del número de árboles por hectárea a diferentes edades. Con una densidad inicial de 1110 árboles por hectárea, un espaciamiento de 3 x 3 m (frecuente en Galicia) y una calidad de sitio SI 2 (Fernández, 1985), la competición entre árboles se inicia a edades de 3-4 años. Dado que la competición reduce el crecimiento diametral es importante realizar una clara a edades tempranas donde el potencial de este crecimiento es máximo. En el ejemplo propuesto se propone realizar la primera clara a los 3-4 años, reduciendo el número de árboles a 550 por hectárea (50% de la densidad de plantación inicial). En esas condiciones, los árboles comenzarían a competir nuevamente a una edad de 8 años y, en ese momento, otra intervención que suprima el 50% de los árboles existentes hasta dejar 250 árboles/ha evitaría la

competición hasta una edad de 13 años. Si el objetivo es disponer de árboles con un diámetro normal de 50 cm en rotaciones de 20 años, el máximo número de árboles por hectárea sería de 120 (Tabla 2). Una tercera clara a los 13 años hasta dejar los 120 árboles seleccionados permitiría alcanzar dicho objetivo de producción.

Empleando un factor de forma (conicidad) puede estimarse tanto el volumen total al final del periodo de rotación, como el volumen de madera de sierra. La Tabla 3 muestra los valores obtenidos para el ejemplo descrito anteriormente.

Si se asume una conicidad de 1,2 cm por m y el diámetro mínimo requerido por los aserraderos es de 40 cm, casi 10 m del fuste de cada árbol existente al final del turno de rotación podrá emplearse como madera aserrada. Esto significa que a los 20 años se producirá un volumen total de madera aserrada de 191 m³ (1,6 m³/árbol), equivalente al 32% del volumen total.

Dado que el valor de la madera también depende de su calidad y, en especial, de la presencia de nudos, será necesario realizar podas artificiales. El modelo de desarrollo de la base de la copa, permite optimizar la intensidad de las podas necesarias en función del régimen silvícola y de las condiciones de crecimiento.

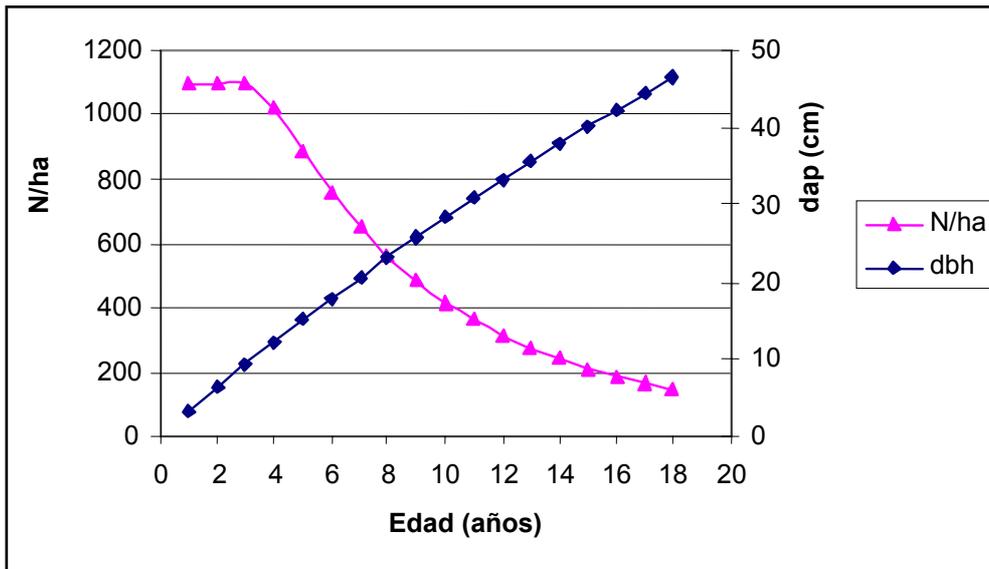


Figura 5. Reducción del número de árboles por hectárea (N/ha) para alcanzar el máximo crecimiento diametral posible en una calidad de sitio 2 (Fernández, 1985).

Tabla 3. Volumen total en el turno de corta (Vol rem) y volumen obtenido en las claras (vol claras) con la propuesta de gestión forestal expuesta como ejemplo.

Edad	$d_{1,3}$	N/ha	Vol rem	Vol claras
2	6.3	1100	2.7	0
4	12.2	550	22	22
8	23.2	250	82	82
13	35.6	120	162	162
20	50.7	120	323	0
Volumen total producido en 20 años: 589 m ³				

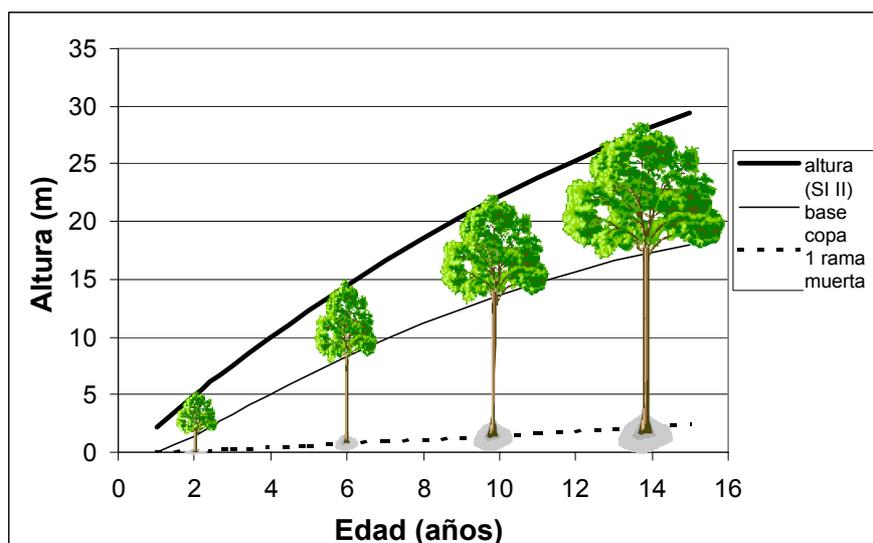


Figura 6. Altura de la base de la copa viva estimada para el máximo incremento radial en una calidad de sitio 2 (Fernández, 1985).

La Figura 6 muestra como en sitios de buena calidad, incluso si los árboles están espaciados, la muerte de las ramas se inicia muy rápido, alcanzando alturas de la base de la copa de 3 m a los 3 años de edad. Para asegurar la calidad de la troza basal, la primera poda debe producirse a dicha edad. Una poda en altura de hasta el 50% de la copa viva no reduce significativamente el incremento diametral (Finger *et al.*, 2001; Pinkard and Beadle, 1998a, 1998b).

En el ejemplo dado en la Tabla 2, la primera clara realizada a los 3-4 años debe acompañarse de una poda hasta una altura de 3 m. En ese momento, los árboles en una calidad de sitio 2 tienen una altura de entre 7 y 10 m. La segunda poda hasta una altura de 6 a 10 m debe realizarse a los 6-7 años, cuando la altura de los árboles es de 14 a 16 m. La viabilidad económica de las segundas o terceras podas está directamente relacionada con el objetivo de producción diametral, recomendándose que, en caso de realizarse, permitan obtener un porcentaje mínimo de 2/3 del diámetro de madera limpia, descontando la corteza y un núcleo de madera juvenil. (Schulz, 1959).

Conclusiones

Es posible producir madera de sierra con eucaliptos y en rotaciones cortas si se aprovecha el gran potencial de crecimiento en diámetro de los árboles de porvenir, mediante la realización de claras que permitan aprovechar el espacio vital disponible por dichos árboles. Las claras deben iniciarse a edades tempranas (o disponer de un mayor espaciamiento

inicial) y deben producirse tan pronto se manifiesten fenómenos de competencia entre copas. Las claras deben estar acompañadas por podas de las ramas vivas para garantizar un núcleo central nudoso de reducida dimensión. Si se aplican estas condiciones se logrará producir un volumen razonable de madera de calidad, incluso con árboles con un $d_{1,3}$ de 45 a 50 cm.

Se requiere investigación adicional para analizar la relación existente entre las tensiones de crecimiento y la calidad de la madera producida en rotaciones cortas. Los programas de mejora genética orientados a la producción de madera de sierra con eucaliptos pueden incrementar la tasa de crecimiento y mejorar tanto las propiedades de la madera como la variación de sus valores.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a José Luis Delgado de "Montes e Proxectos" (A Coruña), a Daniel Villapol de "Maderas Villapol" (Trabada, Lugo), a Fernando Lorenzo de "Parquets Lorenzo" (Mondoñedo, Lugo), al Dr. Manuel Varela (Baio, A Coruña) y al presidente de la Comunidad de Montes de A Cazolga (Lugo), Francisco Prado, por la cesión de parcelas y su colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

Esta investigación ha sido financiada mediante una beca de investigación Marie Curie Fellowship dentro del Programa de la Unión Europea "Quality of Life and Management of Living Resources", contrato n° QLK5-CT-2002-51485.

Referencias bibliográficas:

- Assmann,E., 1970. The principles of forest yield study. Oxford Pergamon Press, New York.
- Bredenkamp,B.V., Malan,F.S., Conradi,W.E., 1980. Some effects of pruning on growth and timber quality of *Eucalyptus grandis* in Zululand. South African Forestry Journal 114, 29-34.
- Cohen,J., Cohen,P. 1975. Applied multiple regression: correlation analysis for the behavioral sciences. Lawrence Erlbaum Association, Hillsdale, New Jersey.
- Curtin,R.A. 1964. Stand density and the relationship of crown width to diameter and height in *Eucalyptus obliqua*. Canadian Journal of Forest Research 28, 91-105.
- Curtin,R.A. 1970. Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus obliqua*. Forest Science 16, 321-328.
- Dawkins,H.C. 1963. Crown diameters: their relation to bole diameter in tropical forest trees. Commonwealth Forestry Review 42, 318-333.
- Deleuze,C., Herve,J.C., Colin,F., Ribeyrolles L. 1996. Modelling crown shape of *Picea abies*: spacing effects. Canadian Journal of Forest Research 26, 1957-1966.
- Fernández, A.B. 1985. Yield tables for *Eucalyptus globulus*. In: Madrigal,A., Álvarez,J.G., Rodríguez,R., Rojo,A., 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- Finger,C.A., Schneider,P.R., Bazzo,J.L., Klein,J.E.M. 2001. Efeito da intensidade da desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna*. Cerne 7, 53-64.
- Gerrand,A.M., Neilsen,W.A., Medhurst,J.L. 1997. Thinning and pruning eucalypt plantations for sawlog production in Tasmania. Tasforests 9, 15-34.
- Hawley,R.C., Smith,D.M. 1972. Silvicultura práctica. Omega, Barcelona.
- Henskens,F.L., Battaglia,C.L., Cherry,M.L., Beadle,C.L. 2001. Physiological basis of spacing effects on tree growth and form in *Eucalyptus globulus*. Trees: Structure and Functions 15, 365-377.
- Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. 1997. Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg, Hrsg., Richtlinien zur Jungbestandspflege; 16 pp.
- Montagu,K., Kearney,D., Smith,G. 2003. Pruning eucalypts - the biology and silviculture of clear wood production in planted eucalypts. Rural industries research and development cooperation (RIRDC). Joint venture agroforestry programs. 36pp.
- Nutto,L. 1997. Management of crown development, competition and self pruning in young oak stands (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.) in Middle Europe. Rogers, R and Spiecker, H. Somogyi Z. 177-183. Freiburg, Germany. Proceedings Advances in Research in intermediate oak stands.
- Nutto,L., Maestri,P. 2002. Growth rate and growth stresses in Brazilian eucalypts: preliminary results of growth and quality modeling on an individual tree basis. Nancy, France, Proceedings Harrison Hot Springs 219-230., British Columbia, Canada.
- Nutto,L., Spiecker,H. 2000. Production of valuable wood: a software aided decision tool for managing oak stands (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.) in Europe. Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis 37, 37-49.
- Nutto,L., Touza,M.C., Delgado,J.L. 2003. Producción de madera de calidad de eucalipto: La poda – Conocimientos Fundamentales y Técnicas. CIS-Madera 11, 35-45.
- Pinkard,E.A., Beadle,C.L. 1998a. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. New Forests 15 (2), 107-126.

- Pinkard,E.A., Beadle,C.L. 1998b. Regulation of Photosynthesis in *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden following green pruning. *Trees: Structure and Functions* 12, 366-376.
- Pretzsch,H. 1995. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 114, 188-209.
- Röhle,H. 1986. Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien. *Forstarchiv* 57, 67-71.
- SAS Institute INC. 1992. User's guide SAS/LAB Software. Cary, NC.
- Schönau,A.P.G. 2002. The effect of planting espacement and pruning on growth, yield and timber density of *Eucalyptus grandis*. *South African Journal of Forestry* 88, 16-23.
- Schulz,H. 1959. Untersuchungen über die Bewertung und Gütemerkmale des Eichenholzes aus verschiedenen Wuchsgebieten. *Schriftenreihe der Universität Göttingen* 23: 90 S.
- Seling,I., Spathelf,P., Nutto,L. 2001. Herleitung und ökonomische Analyse eines einzelbaumorientierten Behandlungsmodells in der Eukalyptus (*Eucalyptus grandis*)-Plantagenwirtschaft in Südbrasilien. *Forstarchiv* 72 (5), 208-218.
- Smith,J.H.G. 1963. Analysis of crown development can establish biological and economic limits to growth of trees and stands. *Commonwealth Forestry Review* 42, 27-33.
- Spathelf,P., Nutto,L., Seling,I. 2000. Condução do crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* com base em árvores individuais. Schneider, P. R. and Finger, C. A. G. 471-490. *Proceedings, Santa Maria, RS,Brazil*.
- Spiecker,H. 1991. Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben und Stieleichen. *Ministerium für Ländlichen Raum, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart*.
- Stackpole,D. 2001. *Eucalypt stem pruning*. Agriculture Notes AG0773, 1-2.
- Wardlaw,T.J., Neilsen,W.A. 1999. Decay and other defects associated with pruned branches of *Eucalyptus nitens*. *Tas Tasforests* 11:49-57