



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-272

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias

HEVIA, A.^{1,2}

¹ Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS). Pumarabule, Carbayín, s/n, 33936 Siero - Asturias, España.

² Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UXFS). Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario s/n, 27002 Lugo, España.

Resumen

El presente trabajo se enmarca en una línea de investigación orientada a producir madera de calidad en masas de coníferas del arco atlántico, cuyo objetivo es evaluar el efecto de las podas y las claras en el crecimiento, desarrollo y calidad de la madera, así como la influencia de la gestión en el balance nutricional, contenido de carbono y riesgo de incendio forestal. Los datos utilizados proceden de una red de ensayos permanentes en masas de *P. radiata* D. Don y *P. pinaster* Aiton, con diferentes intensidades de poda (primera fase experimental), junto con un muestreo de biomasa en parcelas temporales de *P. pinaster*. El tamaño del centro con defectos y de ramas resultó superior en *P. radiata*. Esta especie mostró brotes epicórmicos tras la poda y fue más sensible al tratamiento en términos de crecimiento y dominancia. Los árboles podados mostraron troncos más cilíndricos para podas más intensas en ambas especies, efecto que desapareció con el tiempo. Los resultados obtenidos ayudan a un mejor entendimiento del tratamiento y recomiendan pautas diferentes de poda para cada especie. Las ecuaciones de biomasa desarrolladas permiten cuantificar la biomasa residual de poda, aportando información muy valiosa para una selvicultura preventiva y una gestión forestal sostenible.

Palabras clave

Selvicultura, madera libre de nudos, crecimiento y producción, distribución vertical de la biomasa, contenido nutricional y de carbono, riesgo de incendio.

1. Introducción

Las masas de coníferas de crecimiento rápido constituyen un importante potencial forestal en la zona del arco atlántico europeo. Entre ellas, *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton, ampliamente representadas en este ámbito, juegan un papel muy importante como especies productoras de madera, siendo las coníferas con mayor distribución y aprovechamiento maderable de Asturias, en donde encuentran unas condiciones climáticas y edáficas idóneas para su crecimiento y producción (ÁLVAREZ-ÁLVAREZ et al. 2011; HEVIA 2013; ARIAS-RODIL et al. 2015; HEVIA et al. 2016a).

La madera de calidad, libre de nudos, presenta un valor en el mercado mundial altamente superior. Sin embargo, la obtención de este tipo de productos requiere de una gestión intensiva de las masas forestales, orientada a mejorar el valor del producto final. En este sentido, las podas y las claras son intervenciones selvícolas imprescindibles. Así, las podas permiten limitar los nudos y defectos asociados a las ramas en el centro del fuste (centro nudoso o con defectos), a partir del cual se forma madera limpia (libre de nudos). Las claras, por su parte, ayudan al crecimiento en grosor de los árboles, favoreciendo una mayor producción de madera. De esta manera, la adecuada realización de ambas operaciones selvícolas, bajo unas pautas de intervención acordes con la especie y ámbito geográfico, puede ayudar a obtener materias primas con mayor valor añadido en el producto final, justificando además que el gasto de su realización se vea amortizado en el aprovechamiento.

Dentro de los aspectos técnicos de la poda para madera libre de nudos, es imprescindible considerar los criterios que permiten maximizar el valor del producto final. También cabe destacar los

efectos de la intervención de poda sobre el crecimiento y desarrollo posterior del árbol, así como la influencia del tratamiento sobre el cierre de las heridas y, por tanto, sobre la definición del centro con defectos, así como la forma y perfil del mismo dentro del fuste. Por otra parte, la calidad de la madera y su valor pueden verse reducidos si se produce la aparición y persistencia de brotes epicórmicos en el fuste podado.

A pesar de la importancia de las podas y las claras en la producción y calidad de la madera, las líneas de investigación sobre selvicultura atlántica de las principales especies maderables han estado centradas principalmente en la instalación y estudio de las intervenciones de clara (DIÉGUEZ-ARANDA et al. 2009; ARIAS-RODIL, 2015). Los ensayos de podas, por su parte, han sido menos frecuentes (COURDIER et al. (2002) para *P. pinaster* en Francia y CHAUCHARD & OLALDE (2005) para *P. radiata* en País Vasco), no encontrando trabajos previos que combinen ambas intervenciones. Dada esta necesidad, y con el fin de optimizar la gestión selvícola de las masas para producir madera de calidad, el presente estudio ha sido planteado como trabajo pionero en una nueva línea de investigación forestal que, a día de hoy, resulta prioritaria en el norte peninsular.

La realización de podas ha sido también descrita como una operación clave en la selvicultura preventiva contra los incendios forestales (ej. GRAHAM et al. 2004; AGEE & SKINNER, 2005). Esto es así por la eliminación de las ramas bajas de la copa, aumentando la discontinuidad vertical del combustible y, por tanto, la intensidad del fuego necesaria para que se genere un incendio de copas. La realización de las claras resulta también esencial en la selvicultura preventiva al ampliar el espaciamiento existente entre los árboles de una masa, aumentando la discontinuidad horizontal del combustible y, por ende, reduciendo el riesgo de dispersión de un fuego de copas (ej. GRAHAM et al. 2004; AGEE & SKINNER, 2005). Por otro lado, los restos selvícolas generados por estas intervenciones pueden suponer un mayor riesgo de incendio si no se considera su gestión. Por ello, el manejo de los restos de estas operaciones va a jugar un papel fundamental en el sistema forestal, en términos de riesgo de incendio, y otros aspectos asociados a la sostenibilidad del sistema, como el balance nutricional o contenido de carbono almacenado. Por todo ello, resulta imprescindible la cuantificación de la biomasa existente y la biomasa residual extraída en las actividades selvícolas para su correcta gestión sin efectos negativos en el sistema forestal (HEVIA et al. 2017). Para las intervenciones de clara pueden ser utilizadas ecuaciones de biomasa determinadas para el árbol completo, como las desarrolladas por MERINO et al. (2003), BALBOA (2005), CÁMARA (2006) o CANGA (2008) para *P. radiata* y *P. pinaster* en el noroeste peninsular. Para el caso de las podas, sin embargo, se requieren ecuaciones más específicas que permitan estimar la cantidad de biomasa existente hasta una altura determinada del árbol (HEVIA, 2013).

Por todo esto y dada la necesidad de disponer de herramientas eficientes para la gestión de coníferas orientada a la producción de madera de calidad en el área atlántica, se ha instalado durante el presente estudio una red de parcelas permanentes de investigación, con un diseño experimental de podas y claras en masas de *P. radiata* y *P. pinaster* del Principado de Asturias, aportando información para una gestión selvícola preventiva que integre la producción de madera libre de nudos y la sostenibilidad del sistema.

2. Objetivos

Se plantea como objetivo general caracterizar y evaluar el efecto de la poda en masas jóvenes regulares de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* de Asturias (noroeste peninsular). Para alcanzar este objetivo genérico han sido planteados los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el tratamiento de poda, en copa y fuste (diámetro sobre muñón), y evaluar la respuesta al tratamiento efectuado (cicatrización y brotes epicórmicos) en ambas especies.

-Estimar el perfil del centro con defectos en árboles en pie de ambas coníferas y analizar la influencia de la intensidad de poda sobre el perfil y forma del centro nudoso.

-Estudiar el efecto de la poda en la dinámica de crecimiento de cada especie, y su relación con la producción unitaria y el estatus social de los pies intervenidos.

-Elaborar modelos para la estimación de la biomasa de las diferentes fracciones arbóreas aéreas y su distribución vertical en masas regulares de *Pinus pinaster*, y su aplicación para determinar la biomasa extraída en actividades de poda, su relación con el balance nutricional del sistema forestal, el contenido de carbono y el riesgo de inicio y propagación de un fuego de copas.

3. Metodología

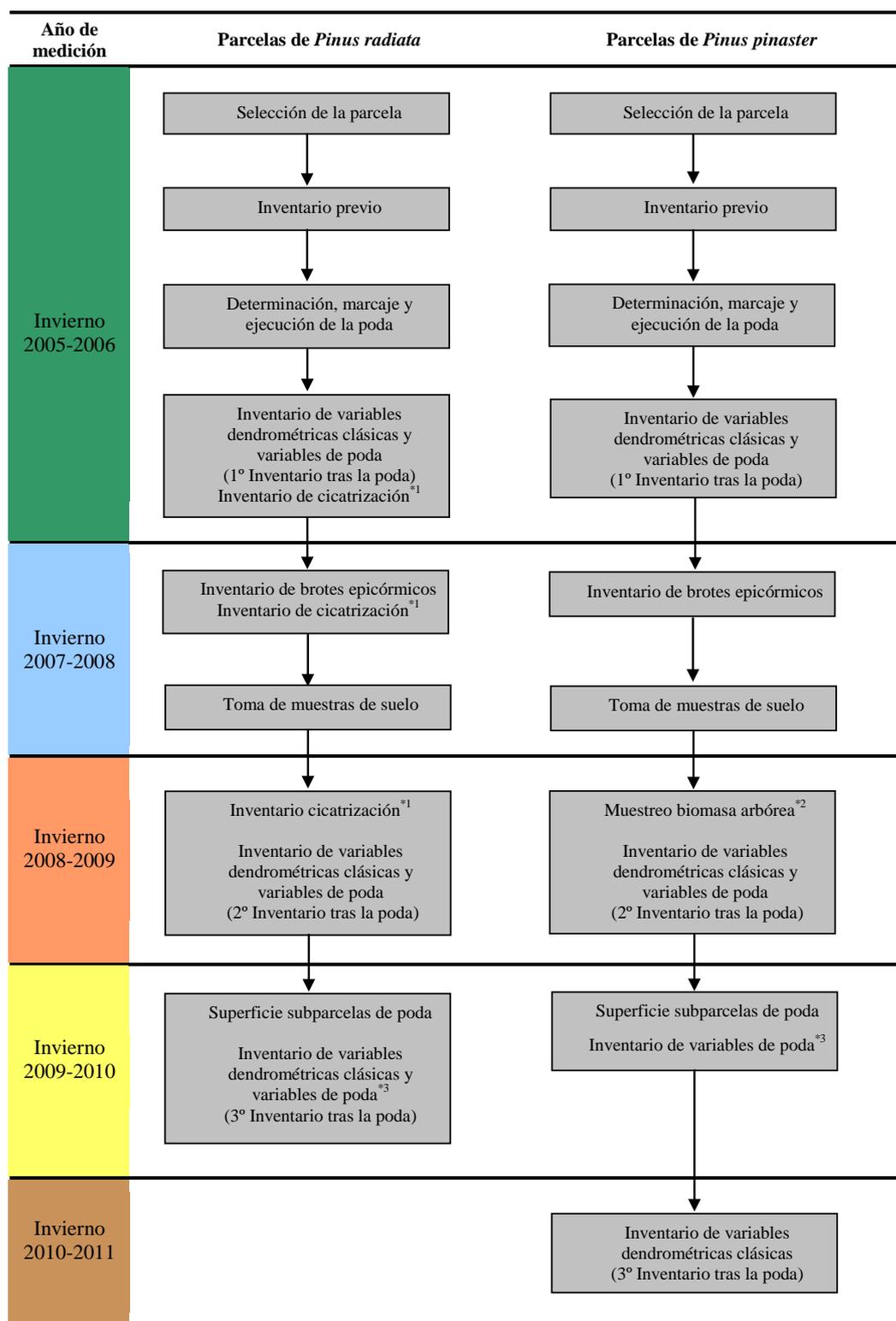
3.1. Características de las masas estudiadas y diseño experimental

La realización de este trabajo se llevó a cabo en una red experimental de ensayos permanentes conformada por 4 parcelas de *P. radiata* y 4 parcelas de *P. pinaster*, junto con 3 parcelas temporales de *P. pinaster*, ubicadas todas ellas en el Principado de Asturias, en masas jóvenes con edades comprendidas entre 7 y 11 años. Esta red fue instalada durante el presente estudio, tratando de cubrir la variabilidad de las masas para estas especies en el noroeste peninsular. Para su instalación (invierno 2005-2006) fueron seleccionadas masas no gestionadas, en un estado de desarrollo adecuado para las intervenciones selvícolas planteadas. En una primera fase se realizó la primera intervención de poda (altura variable), diferenciando: control, poda débil y poda severa (0, 12-15, 19-37% de longitud de copa viva podada). En una segunda fase se realizó la poda alta (5,5-6 m) en una selección de árboles (con mejores características para madera estructural), y una primera clara: control, clara selectiva (150 pies/ha árboles de porvenir) y clara baja fuerte (30-40% de área basimétrica). Cada parcela (superficie aproximada de 1 ha) estuvo subdividida en 64 subparcelas de poda, aleatoriamente distribuidas en cada ensayo (1ª fase), y 3 zonas de clara (2ª fase). Para la ejecución de las podas se seleccionaron herramientas que garantizaran la calidad del corte, cierre de las heridas y eficiencia en la producción de madera libre de nudos.

3.2. Inventarios forestales

Tras la realización de la poda (1ª fase) en las parcelas permanentes se realizó un inventario exhaustivo de las masas para la evaluación y caracterización de la poda aplicada en cada pie de forma individual (invierno 2005-2006). Asimismo, en los años sucesivos al tratamiento fueron realizados diversos inventarios (inviernos 2007-2008 a 2010-2011) en los que se tomaron variables dendrométricas clásicas en todos los árboles (diámetro normal, altura total,...) y variables asociadas a la poda en los árboles centrales de cada tratamiento (diámetro máximo sobre muñón, ramosidad,...). En las parcelas temporales instaladas para el muestreo destructivo de biomasa fueron caracterizadas variables dendrométricas y de biomasa aérea.

Tanto en las parcelas permanentes como en las parcelas temporales fueron estimadas las principales variables dasométricas de cada sitio de ensayo a partir de los datos de inventario. Además, en todas las parcelas se incluyó la recogida de muestras de suelo para su análisis físico y químico en un laboratorio externo acreditado. La Figura 1 recoge de forma esquemática el cronograma de trabajo realizado para obtener los datos utilizados en el presente estudio, diferenciado por especie.



*1 Inventario de cicatrización realizado únicamente en una parcela de ensayo de *P. radiata*.

*2 Muestreo de biomasa realizado en las parcelas temporales de *P. pinaster*.

*3 Variables de poda evaluadas en una parcela de ensayo de cada especie.

Figura 1. Esquema del trabajo realizado para la obtención de datos del presente estudio.

3.3. Caracterización de la poda

Una vez realizadas las intervenciones de poda y los inventarios en cada parcela permanente, se valoraron diferentes criterios para la definición de la intensidad real de la poda. De todos ellos, fue seleccionada la altura del árbol eliminada (% de altura total del árbol) por ser un criterio de fácil medición en campo, más exacto que el número de verticilos de la copa, previamente utilizado para el señalamiento de los tratamientos. De esta manera, se definieron tres severidades de poda (15%, 30% y 45% de altura total eliminada) que fueron utilizadas para el análisis del efecto de los tratamientos.

La calidad de la poda y el momento de intervención fueron evaluados mediante la caracterización del diámetro sobre muñón a diferentes alturas (DSM_j) y el máximo valor de este diámetro (DSM_m) (Figura 2a). El valor que alcanza el DSM_m está directamente relacionado con el volumen de madera del fuste que contendrá los defectos en el momento de la corta final, por lo que esta variable ha sido utilizada como referencia en países con amplia experiencia en la obtención de madera de calidad como Nueva Zelanda, Australia o Chile (ej. MACLAREN, 1993; MENESES & GUZMAN, 2000; PRIVATE FORESTS TASMANIA, 2004). Estas variables (DSM_j y DSM_m) fueron caracterizadas en los sucesivos inventarios para un mejor seguimiento del proceso de formación del centro con defectos en las dos especies estudiadas, pudiendo estimar el incremento producido en esa zona del fuste podado ($iDSM_j$). Este proceso de formación del centro nudoso viene determinado también por la cicatrización de las heridas de poda, debiendo añadir al DSM_j el engrosamiento correspondiente con el cierre de las heridas.

Para una mejor caracterización de la cicatrización y del tamaño del centro con defectos, se realizó un estudio específico de las heridas de poda y su oclusión en un ensayo de *P. radiata*. Para ello, fue estimado el índice BIX correspondiente con el valor medio de las ramas podadas de mayor tamaño (una en cada cuadrante del fuste podado), y que ha mostrado ser un buen indicativo de los efectos del tamaño de la rama en la calidad de la madera (ej. INGLIS & CLELAND, 1982; MAGUIRE et al. 1991; TRINCADO, 2006) (Figura 2b). La aparición de brotes epicórmicos como respuesta a la poda fue también evaluada en las parcelas permanentes de ensayo dos años después del tratamiento (Figura 2c), dado el efecto negativo de estas formaciones sobre el valor final de la madera

A partir de los datos obtenidos, se realizó una primera estimación del porcentaje de madera limpia que habría al final del turno en función del diámetro normal del árbol en el momento de la poda, el engrosamiento necesario para el cierre de las heridas y el tamaño del árbol en la corta final (casos hipotéticos de árboles de 35 y 40 cm).

3.3. Funciones de perfil y forma del centro con defectos

La caracterización del centro con defectos en este trabajo se basó en el estudio de su tamaño y distribución a lo largo del fuste podado. Para ello, se evaluó el perfil del centro nudoso para estimar el valor de la madera en pie (es decir, proporción de madera limpia y madera con nudos) y la forma del centro con defectos para su procesado posterior (árboles más cilíndricos tendrán un mejor aprovechamiento industrial).

La evaluación del perfil del centro defectuoso permitió ajustar dos tipos de modelos a partir de datos de DSM_j y su altura en el fuste. Los datos fueron tomados mediante métodos no destructivos (Criterio RD1000) en ambas especies. En un análisis previo se evaluaron las funciones de perfil más utilizadas en investigación forestal (ej. BIGING 1984; KOZAK 1988; FANG et al. 2000; KOZAK 2004), siendo seleccionado finalmente el modelo de BIGING (1984). Por otro lado, se propusieron modelos para determinar el centro con defectos a partir de las funciones de perfil clásicas (perfil ideal, sin defectos), previamente desarrolladas para estas especies en Asturias (CANGA (2008) para *P. radiata* y ARIAS-RODIL (2009) para *P. pinaster*, ambas basadas en la ecuación de FANG et al. (2000)). El

efecto de la poda sobre la forma del tronco fue evaluado mediante la estimación del coeficiente de forma para cada especie.

3.3. Crecimiento y producción

La influencia de la poda sobre el crecimiento en diámetro y altura de los árboles de *P. radiata* y *P. pinaster* fue evaluada para todo el tiempo de estudio en cada una de las parcelas permanentes. Asimismo, se ajustaron modelos de crecimiento individual en diámetro y altura incluyendo variables dendro- y dasométricas, índices de competencia (independientes de la distancia) y variables asociadas con el tratamiento de poda efectuado. El volumen unitario final para cada especie fue también evaluado en los años sucesivos a la poda, considerando 8 clases sociológicas de los árboles de acuerdo con la clasificación de COURDIER et al. (2002).

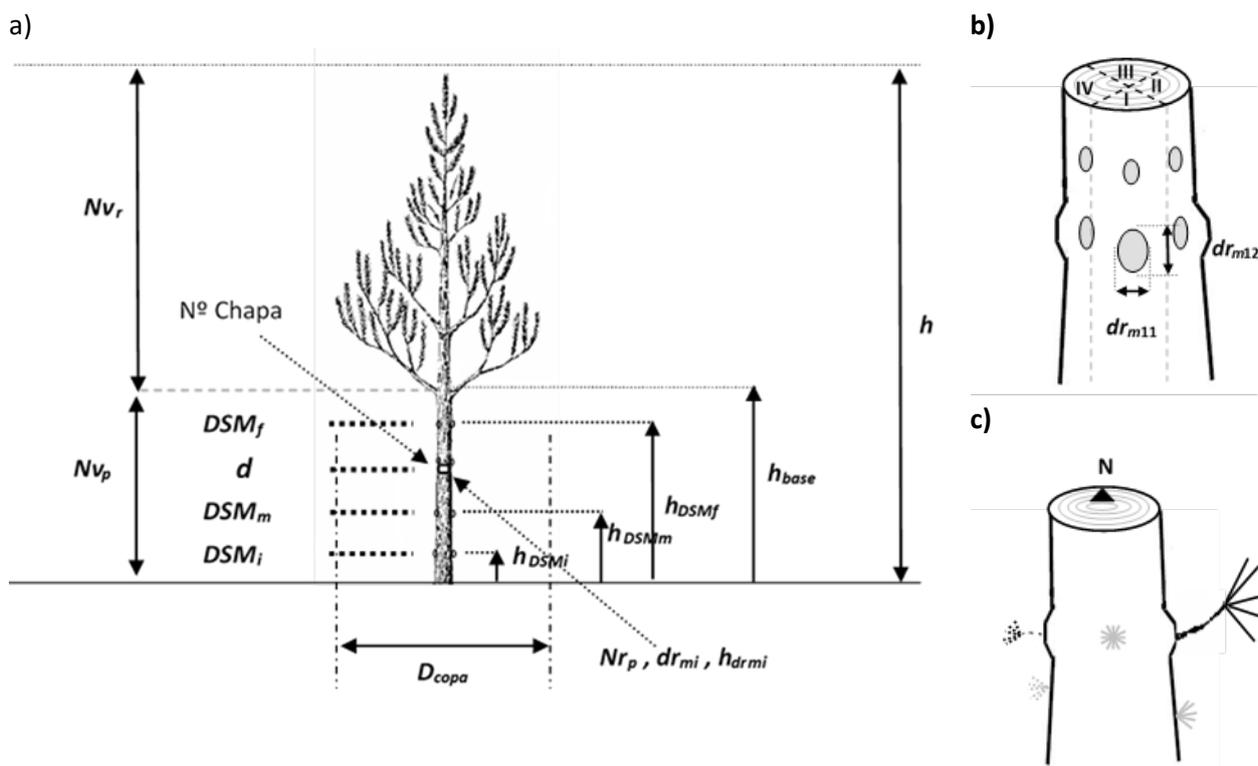


Figura 2. (a) Principales variables dendrométricas y variables de poda medidas en los árboles centrales de las subparcelas de poda en la red de parcelas permanentes. *Nvr*: número de verticilos de la copa remanente tras la poda; *Nvp*: número de verticilos podados; *DSMi*: diámetro sobre muñón en el primer verticilo podado; *DSM_m*: diámetro máximo sobre muñón; *d*: diámetro normal (1.30 m); *DSM_f*: diámetro sobre muñón en el último verticilo podado; *h*: altura total; *h_{base}*: altura de la base de la copa; *h_{DSMi}*: altura a la que se encuentra el *DSMi*; *h_{DSMf}*: altura a la que se encuentra el *DSM_f*; *h_{DSMm}*: altura a la que se encuentra el *DSM_m*; *D_{copa}*: diámetro de copa; *Nrp*: número de ramas podadas; *dr_{mi}*: diámetro medio de las cuatro heridas de poda de mayor tamaño, una de cada cuadrante *i*; y *h_{drmi}*: altura a la que se encuentran las heridas de poda de mayor tamaño seleccionadas. (b) Identificación de la herida de mayor tamaño situada en cada cuadrante (I a IV) del fuste podado para el cálculo del índice de ramosidad BIX. Fuente: Adaptado de INGLIS & CLELAND (1982). (c) Formaciones epicórmicas consideradas en este trabajo. En color negro, brotes extendidos, en gris brotes no extendidos; Con líneas continuas, brotes vivos y líneas discontinuas, brotes muertos. Fuente: Elaboración propia.

3.4. Biomasa arbórea: árbol completo y por alturas

El estudio de la biomasa arbórea aérea de *P. pinaster* fue efectuado tras la medición, apeo y procesado de 28 árboles en las tres parcelas temporales instaladas con este fin (cerca y representativas de las parcelas permanentes). Para ello, se realizó un muestreo destructivo

exhaustivo que permitió una definición más exacta de la distribución por alturas de la biomasa con el fin de estimar de forma más precisa la biomasa extraída en una intervención de poda. También se diferenciaron las fracciones más finas para la evaluación del riesgo de incendio. Se definieron como componentes arbóreos del fuste y de la copa: madera (W_m), corteza (W_c), ramas gruesas (W_{rg} , con diámetros de 2-7 cm), ramas finas (W_{rf} , con diámetros de 0,6-2 cm), ramillas (W_{rm} , diferenciando entre 0-0,3 cm y 0,3-0,6 cm) y acículas (W_{ac}). Asimismo, se agruparon dos fracciones de copa: ramas (ramas de 0,6-7 cm) y finos (acículas y ramillas hasta 0,6 cm). Una submuestra de biomasa de cada fracción fue procesada en laboratorio, con secado en estufa a 65°C hasta peso constante pudiendo determinar su peso seco.

3.4.1. Biomasa residual de poda: nutrientes y carbono

Se realizó el análisis nutricional (principales macro- y micronutrientes) en una submuestra de biomasa de cada fracción (laboratorio externo acreditado). Estos valores fueron utilizados junto con los modelos de estimación de biomasa por alturas para estimar la cantidad de nutrientes y carbono extraídos en las diferentes severidades de poda definidas (15, 30 y 45% de altura eliminada).

3.4.2. Biomasa residual de poda: riesgo de incendio de copas

La carga de combustibles finos (acículas y ramillas hasta 0,6 cm) y su distribución a lo largo del dosel de copas son aspectos determinantes en el riesgo de un incendio de copas y su posterior comportamiento. Los modelos de predicción del riesgo de inicio y propagación de este tipo de incendios, así como los que simulan su comportamiento, requieren conocer variables estructurales del dosel de copas (REINHARDT et al. 2006), como son, entre otras: “*Canopy Bulk Density*” (CBD) (VAN WAGNER, 1977) y “*Canopy Base Height*” (CBH) (SANDO & WICK, 1972; SCOTT & REINHARDT, 2001). Sin embargo, estas variables no pueden medirse directamente en campo y son necesarios métodos indirectos para su estimación (ej. CAREY & SCHUMANN, 2003; CRUZ et al. 2003; REINHARDT et al. 2006). Gracias a los modelos de distribución de biomasa en altura desarrollados, ha sido posible evaluar la distribución de la carga de combustibles finos para *P. pinaster* en cada sitio permanente de ensayo. Se consideraron las intensidades de poda diseñadas así como diferentes intensidades simuladas de clara (de 0% a 60%, en rangos de 10% de área basimétrica extraída) y poda (de 0% a 60%, en rangos de 10% de altura de copa extraída) combinadas entre sí. Asimismo, fueron estimados los valores de intensidad lineal crítica y de velocidad de propagación crítica, analizando la modificación de estas variables en función del esquema selvícola considerado. Por último, se ajustaron los parámetros de la función de densidad de Weibull (b y c) con variables dasométricas fáciles de estimar en un inventario forestal.

3.6. Análisis estadístico

En total, desde la instalación de las parcelas permanentes se generaron diversas bases de datos con más de 123.000 entradas, siendo utilizado el programa estadístico SAS 9.1® (SAS Institute Inc., 2004 a;b) para su análisis estadístico (información más detallada en HEVIA, 2013).

4. Resultados

4.1. Caracterización de la poda

El DSM_m tras la poda mostró menores valores para *P. pinaster* que en el caso de *P. radiata*. Así, tal y como se muestra en la Figura 3, los valores más frecuentes se situaron entre 7,5 y 12,5 para *P. pinaster* (valor medio de 10,8 cm) y entre 12,5 y 17,5 para *P. radiata* (valor medio de 15,7 cm). La buena relación observada entre el DSM_m y otras variables dendrométricas permitió desarrollar modelos lineales sencillos para predecir su valor en el momento de la poda. Finalmente fue seleccionado el diámetro normal del árbol por su sencillez de medición en campo y los buenos ajustes

mostrados, logrando explicar el 88% y 90% de la variabilidad del DSM_m para *P. radiata* y *P. pinaster* respectivamente (consultar HEVIA (2013)). Por otro lado, el incremento medio anual del DSM_j tras la poda mostró diferencias significativas entre especies, con un mayor incremento para *P. pinaster*.

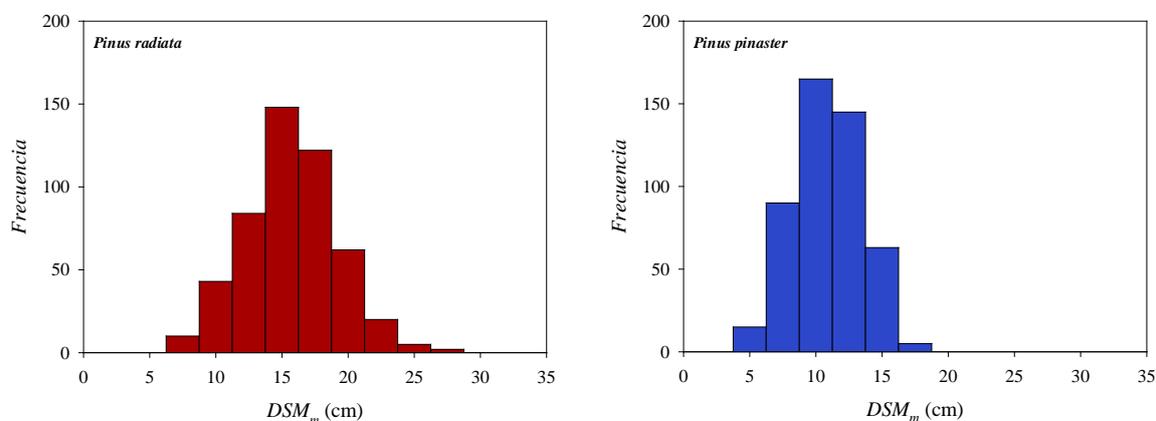


Figura 3. Distribución del diámetro máximo sobre muñón (DSM_m) en un ensayo de cada especie (*P. radiata* (izquierda, rojo) y *P. pinaster* (derecha, azul)).

La evaluación de la cicatrización en el ensayo de *P. radiata* mostró una relación positiva entre el diámetro normal de los árboles podados y el diámetro de las heridas (*BIX*) (Figura 4a). Los árboles de clase diamétrica inferior a 12 cm mostraron un cierre más rápido, con ramas podadas de menor grosor (< 3 cm). Por contra, heridas mayores (> 3 cm) necesitaron mayor tiempo para su oclusión (Figura 4b) y estuvieron presentes en árboles de mayores clases diamétricas, (> 12-14 cm) (Figura 4a).

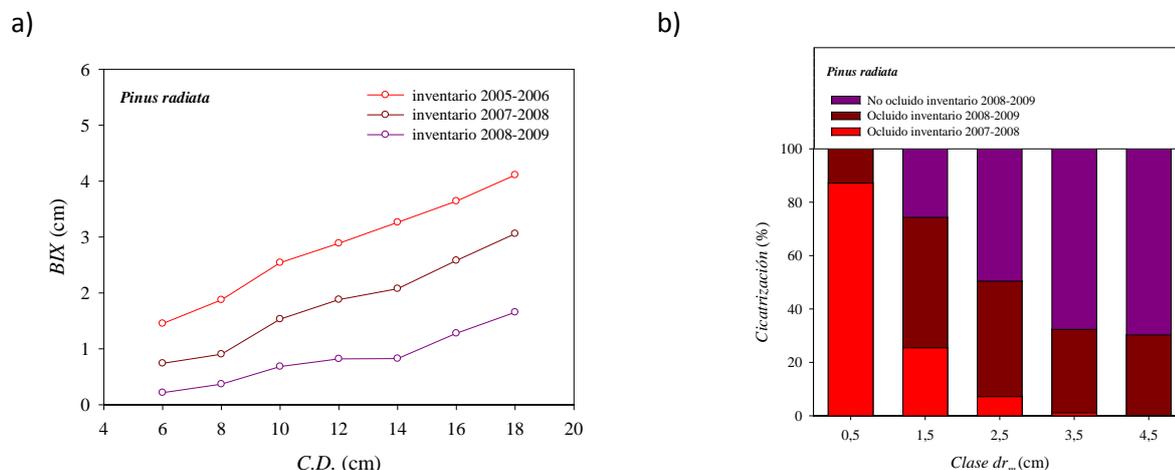


Figura 4. Diámetro medio de las heridas de poda de mayor tamaño (*BIX*), en función de las clases diamétricas de los árboles podados (*C.D.*). (b) Porcentaje medio de heridas de poda cicatrizadas en función de la clase diamétrica de la herida (*Clase dr_m*). Datos para una de las parcelas permanentes de *P. radiata* en los sucesivos inventarios.

El seguimiento de los ensayos tras la poda mostró la aparición de brotes epicórmicos tan solo en las parcelas de *P. radiata* (11% de los árboles podados), no así en las parcelas de *P. pinaster*. La mayor frecuencia y tamaño de estas formaciones dos años después del tratamiento fue observada para la poda más severa (45% de la altura del árbol) y los árboles de menor tamaño (diámetro normal y longitud de copa remanente). Dentro del fuste podado, los brotes se distribuyeron con mayor

frecuencia en la mitad de la altura del fuste y en las orientaciones de mayor exposición (sur), siendo también más frecuente la aparición de estas formaciones entre verticilos y entre nudos (ver HEVIA, 2013).

Atendiendo a los resultados obtenidos, la Figura 5 muestra una estimación del porcentaje de madera limpia para una corta final de árboles con diámetros de 35 y 40 cm, y un engrosamiento medio de 6 cm. De acuerdo con esto, árboles de clases diamétricas inferiores (≤ 10 cm) darían los mejores resultados para la optimización del tratamiento y la obtención de productos de mayor calidad. Sin embargo, la poda de árboles con clases diamétricas superiores, especialmente a partir de 20 cm de diámetro (tamaño bastante común para la poda de árboles en la provincia de Asturias) daría lugar a productos con muy bajo porcentaje de madera limpia. Comparativamente, *P. radiata* mostró un menor porcentaje de madera libre de nudos para un mismo diámetro del árbol en el momento de la poda, dado el mayor engrosamiento producido en esta especie en relación con el diámetro normal del fuste.

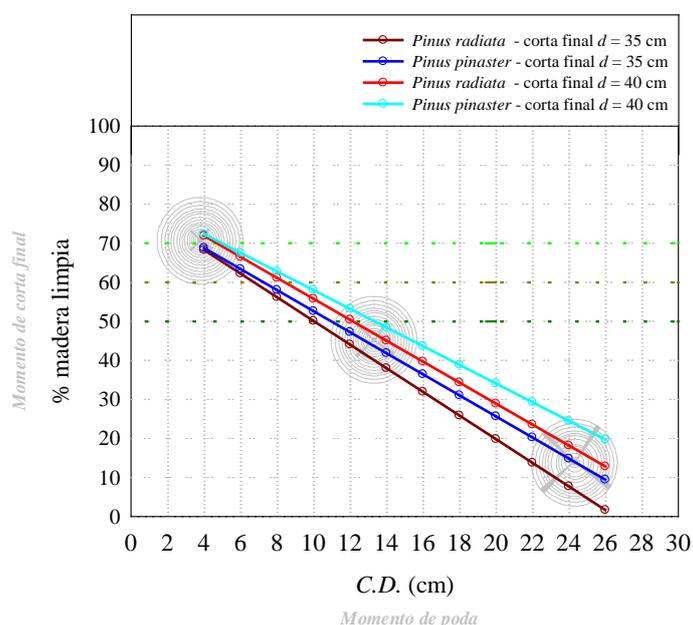


Figura 5. Porcentaje de madera limpia obtenido al final del turno en función de la clase diamétrica del árbol (C.D.) en el momento de poda y un engrosamiento medio de 6 cm para pies de *P. radiata* y *P. pinaster*.

4.2. Funciones de perfil y forma del centro con defectos

El ajuste del modelo de Biging (1984) para definir el perfil del centro defectuoso del fuste podado no mostró diferencias significativas para ambas coníferas, siendo ajustada una única función de perfil para *P. radiata* y *P. pinaster* (ver HEVIA, 2013; HEVIA et al. 2016b). La función propuesta explicó un 98% de la variabilidad del DSM_j . La ecuación de estimación del DSM_j a partir del diámetro sin defectos (d_j) determinado mediante las funciones de perfil clásicas propuestas por CANGA (2008) para *P. radiata* y ARIAS-RODIL (2009) para *P. pinaster* logró explicar un 97% de la variabilidad del DSM_j (HEVIA, 2013; HEVIA et al. 2016b). El engrosamiento de los verticilos fue superior para los árboles podados de mayor DSM_j (Figura 6a) y tratamientos más severos (45%) en ambas especies, siendo comparativamente superior el engrosamiento observado en *P. radiata* frente a *P. pinaster* (Figura 6a). La evaluación de la forma del tronco mostró diferencias significativas por tratamiento (severidades de poda del 15%, 30% y 45%) tres años después de la poda, con una mayor forma cilíndrica para la poda de mayor intensidad en ambas especies, aunque este efecto dejó de ser significativo cuatro años después de la intervención.

4.3. Crecimiento y producción

La dinámica de crecimiento de los árboles podados fue ligeramente diferente para ambas coníferas. *P. pinaster* mostró un mayor reparto de los recursos para el crecimiento en diámetro, mientras que *P. radiata* mostró el mayor crecimiento para la altura. En términos generales, el tratamiento de poda afectó de forma significativa sobre el crecimiento en grosor de ambas especies, con una mayor reducción del crecimiento en *P. radiata* (Figura 6b). El crecimiento en altura no se vio afectado significativamente en ninguna especie (HEVIA, 2013; HEVIA et al. 2016a). Los modelos de crecimiento individual en diámetro y altura obtenidos para ambas especies han considerado como factores influyentes en el proceso de crecimiento variables asociadas con el tamaño y edad del árbol, la severidad de poda, el estado de desarrollo de la masa y la competencia, logrando explicar un mayor porcentaje de la varianza para el incremento individual en diámetro que en el caso de la altura, y comparativamente para *P. radiata* frente a *P. pinaster* (para el diámetro 90,68% en *P. radiata* y 85,26% en *P. pinaster*; para la altura 88,15% en *P. radiata* y 84,19% en *P. pinaster*) (ver HEVIA, 2013; HEVIA et al. 2016a).

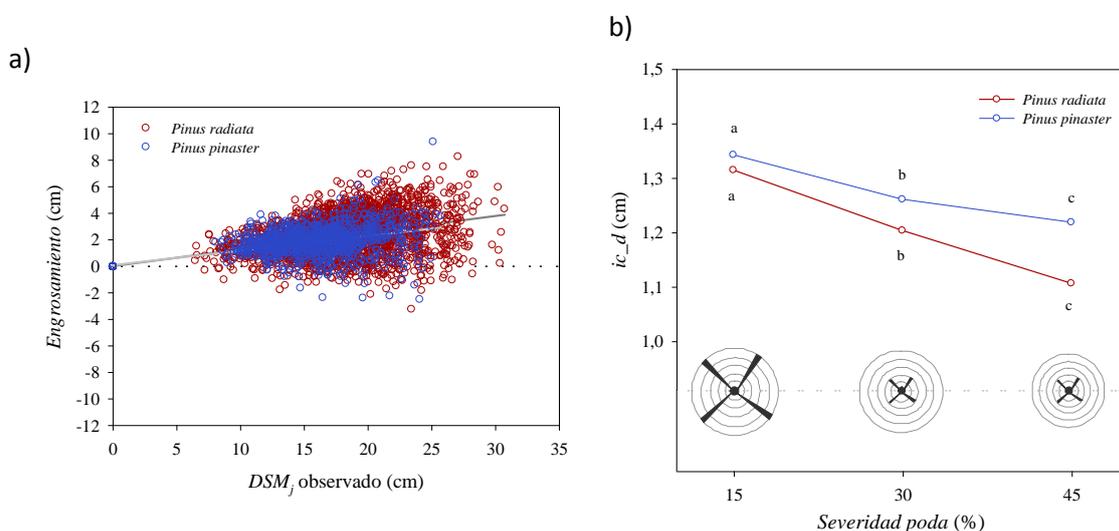


Figura 6. (a) Valores de engrosamiento frente a los valores de diámetro sobre muñón observados para cada especie. (b) Incremento corriente medio para el diámetro (ic_d, cm) de *P. radiata* (rojo) y *P. pinaster* (azul) en función de la severidad de poda (agrupada en 15%, 30% y 45% de altura eliminada), para todo el período de estudio (cuatro años para *P. radiata* y cinco años para *P. pinaster*). Distintas letras indican diferencias significativas en el test de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 95\%$).

El efecto de la poda sobre el crecimiento afectó a la producción unitaria de los pies intervenidos, con una reducción de la producción tras la intervención, menos marcada para los árboles de los estratos dominante y codominante. Asimismo, la poda afectó al estatus social de los árboles podados, con una mayor pérdida de árboles dominantes para el tratamiento de poda de mayor severidad (45%) en ambas especies) (HEVIA, 2013; HEVIA et al. 2016a).

4.4. Biomasa arbórea

Las ecuaciones de biomasa desarrolladas emplearon como variables independientes el diámetro normal, en todos los casos, y la altura total y el ratio de copa para las fracciones del fuste y de la copa, respectivamente. Los modelos de biomasa ajustados para el árbol completo fueron de tipo alométrico, mientras que las ecuaciones de biomasa ajustadas por alturas para la biomasa de copa se correspondieron con la función de distribución de Weibull de dos parámetros. Como

resultado, se obtuvieron seis ecuaciones de biomasa para las fracciones de madera, corteza, finos de la copa y ramas de la copa, y una séptima ecuación para la biomasa total (ecuaciones disponibles en HEVIA (2013)). La aplicación de las ecuaciones por alturas permitió estimar la biomasa de la copa extraída en los ensayos permanentes, que mostraron un porcentaje medio de extracción del 50% de ramas de la copa y del 35% de elementos finos en el conjunto de los ensayos sin diferenciar la intensidad del tratamiento. Podas más intensas y árboles de mayor tamaño aportaron una mayor cantidad de biomasa residual.

4.4.1. Biomasa residual de poda: nutrientes y carbono

El análisis nutricional de las diferentes fracciones arbóreas del fuste mostró una acumulación importante de macronutrientes en las fracciones de copa, especialmente las acículas. Los valores obtenidos para la biomasa foliar fueron comparados con los rangos nutricionales descritos para *P. pinaster* (BARÁ, 1991; BONNEAU, 1995), reportando niveles marginales de N y K, y niveles críticos de P. La proporción de micronutrientes fue menos importante para las acículas, estando la mitad de estos nutrientes en la copa (valores de nutrientes en HEVIA (2013)).

3.4.2. Biomasa residual de poda: riesgo de incendio de copas

Los distintos tratamientos considerados, reales y simulados, mostraron una modificación de las variables *CBD* y *CBH*, con mayor significación a mayor intensidad del tratamiento. La poda fue más influyente en el valor del *CBH*, mientras que la clara lo fue para el *CBD*. Las diferentes intensidades de los tratamientos simulados lograron modificar el valor del *CBD* desde valores de 0,158 (control) a 0,048 (poda del 60% con clara fuerte 60%), y del *CBH* de 1,67 (control) a 4,49 (poda del 60% con clara fuerte 60%). La relación lineal entre los parámetros de la función de Weibull y variables sencillas de rodal fue definida finalmente para las variables altura dominante y longitud de copa del rodal (parámetros *b* y *c*), siendo incluido también el número de pies por hectárea en la ecuación de estimación del parámetro *c* (consultar ecuaciones en HEVIA (2013)).

5. Discusión

En una gestión selvícola enfocada a la producción de madera de calidad resulta necesario conocer aquellas variables del árbol que van a resultar determinantes en la calidad de la intervención y del producto final. De las distintas variables utilizadas como criterio para realizar la poda (altura del árbol, altura de la copa, número de verticilos, edad, etc.), el diámetro parece ser la más precisa por su relación con el tamaño del centro nudoso y, por tanto, con la proporción de madera limpia que se obtendrá en el producto final. De todos los diámetros del árbol, cabe destacar el diámetro máximo sobre muñón (DSM_m), utilizado como variable de referencia en países con experiencia en la gestión selvícola para la producción de madera de calidad (ej. MACLAREN, 1993; MENESES & GUZMAN, 2000; PRIVATE FORESTS TASMANIA, 2004). Los modelos definidos en este trabajo permiten predecir el valor del DSM_m en función del diámetro normal del árbol, lo que facilitará la selección de los árboles a podar y el momento más adecuado para la intervención. De acuerdo con estudios previos para *P. radiata* y *P. pinaster*, esta última menos estudiada, serían recomendables valores del DSM_m entre 8 cm y 19 cm (ej. MEYERS, 1995; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO et al. 1997; DANS DEL VALLE et al. 1999; PRIVATE FORESTS TASMANIA, 2004; CHAUCHARD & OLALDE, 2005). Estos valores indican que la poda realizada en este estudio fue adecuada en la mayoría de los árboles de *P. pinaster* y *P. radiata*, siendo algo más frecuente la presencia de árboles de diámetro excesivo en *P. radiata*, en los que la poda sería desaconsejable para la producción de madera libre de nudos. En cualquier caso, y desde un punto de vista selvícola, no parece recomendable que el DSM_m supere el 33-40% del diámetro del árbol en la corta final (BASTIEN, 2005).

Aspectos relacionados con la intervención de poda pueden resultar determinantes en la respuesta posterior del árbol podado. Por ello, se deberá realizar una intervención con las

herramientas más apropiadas para conseguir un corte limpio que facilite la posterior cicatrización de las heridas (ej. PETRUNCIO et al. 1997; O´HARA, 2007). Asimismo, el tamaño de las heridas afectará al cierre de las mismas, siendo recomendable tamaños que no superen los 3 cm para una cicatrización más rápida y un corte más correcto de las ramas (ej. GERRAND et al. 1997; WARDLAW & NEILSEN, 1999). Estos valores resultan acordes con el presente estudio, en donde se recomienda la poda de árboles que no supere los 12-14 cm para evitar la poda de ramas más gruesas. El crecimiento en la zona de las heridas podadas ($iDSM_j$) va a ser también un factor importante en el proceso de cicatrización de las heridas. Así, mayores incrementos reducirán el tiempo de oclusión de las heridas. De acuerdo con esto, se podría apuntar que *P. pinaster* presentó en este estudio unas condiciones más favorables para la cicatrización de las heridas al mostrar mayores $iDSM_j$ y ramas de menor grosor que *P. radiata*.

Una vez ocluidas las heridas, la forma y perfil del centro con defectos van a ser determinantes en el valor final de la madera y en el procesado de las trozas en su transformación industrial. Por ello, la posibilidad de determinar estas características en árboles en pie, a través de modelos como los desarrollados en este trabajo para el perfil del fuste, aporta una información muy valiosa para la determinación del volumen de madera diferenciado por calidades. La forma del fuste ha sido habitualmente caracterizada sin considerar los defectos asociados a los verticilos (ej. PINKARD & BEADLE, 1998; O´HARA, 1991; RODRÍGUEZ, 2005), encontrando formas más cilíndricas tras la realización de la poda. Este efecto de la poda se encontró también en el presente trabajo para el fuste con defectos, que resultó más cilíndrico a mayor intensidad del tratamiento en ambas especies. Esta respuesta a la poda, sin embargo, puede perderse con el tiempo tal y como se observó en este trabajo y en estudios previos a más largo plazo (ej. SUTTON & CROWE, 1975; BREDENKAMP et al. 1980), siendo por tanto recomendable evaluar la forma del fuste podado en un momento más cercano a la corta.

La intensidad de poda más adecuada debe considerar no solo aspectos relacionados con las propiedades de la madera, sino también el efecto del tratamiento sobre el crecimiento y producción de los árboles podados. Así, en este trabajo podas más severas resultaron en una mayor reducción del crecimiento en grosor, con la consecuente menor producción de los árboles podados e incluso la pérdida de dominancia en algunos pies. Esta reducción del crecimiento diamétrico a mayor intensidad de la poda ha sido observada también en otros ámbitos geográficos para *P. radiata* (SUTTON & CROWE, 1975; NEILSEN & PINKARD, 2003) y *P. pinaster* (COURDIER et al. 2002), aconsejando no realizar podas que reduzcan excesivamente la copa remanente. Los árboles dominantes mostraron una mejor respuesta a la poda que los árboles de las clases sociológicas inferiores. Por ello, árboles dominantes y codominantes parecen ser los mejores candidatos para la poda en términos de crecimiento y producción, siendo necesario considerar también los criterios de tamaño y propiedades de la madera anteriormente apuntados (ramosidad, diámetro sobre muñón, etc.). En cualquier caso, para mantener la dominancia de los árboles podados y facilitar su crecimiento en grosor, resulta necesaria la combinación de las podas con las claras (ej. SUTTON & CROWE, 1975; COURDIER et al. 2002; MONTAGU et al. 2003), aspecto a considerar en la segunda fase experimental de los ensayos evaluados en este trabajo. Atendiendo a la evaluación conjunta crecimiento-perfil, se podría apuntar que el menor volumen de los árboles podados con mayor intensidad podría verse compensado por una mayor forma cilíndrica de los mismos, cuyo aprovechamiento tecnológico resulta mucho mejor, si bien será necesaria la evaluación de estos aspectos a medio-largo plazo.

La especie va a ser también determinante en el resultado de la poda y la calidad final de la madera. Así, en este trabajo *P. radiata* y *P. pinaster* han mostrado diferencias que sugieren definir unas pautas de poda específicas para cada especie. Por su parte, *P. radiata* presentó engrosamientos mayores, ramas más gruesas, e incrementos menores en la zona de las ramas podadas ($iDSM_j$), así como una mayor susceptibilidad para la formación de brotes epicórmicos. También esta especie fue más sensible en su crecimiento tras la poda. Todo ello sugiere una intervención más temprana y menos severa para *P. radiata*, asegurando un menor tamaño del centro con defectos y de las heridas,

y una cicatrización más rápida, con menor impacto de la poda en el crecimiento y productividad. Asimismo, esta especie requerirá una intervención posterior a la poda, con el consiguiente coste añadido, en la que se eliminen los brotes epicórmicos resultantes tras la intervención.

El desarrollo de modelos para estimar la biomasa residual de las actividades selvícolas es crucial en especies maderables (HEVIA et al. 2017). Este trabajo ha demostrado que la biomasa residual de poda de *P. pinaster* puede ser determinada con precisión a partir de variables dendrométricas y ecuaciones de biomasa ajustadas por alturas. Esta información resulta muy valiosa para una mejor planificación de las intervenciones de poda, considerando los efectos del tratamiento y de su biomasa residual en el sistema forestal intervenido. Los resultados aquí presentados muestran la importancia de cuantificar la biomasa extraída en la operación y ponen de manifiesto el importante papel de la biomasa residual de poda en el contenido de nutrientes, especialmente para las acículas. Por ello, desde un punto de vista nutricional y de almacenamiento de C, se recomiendan esquemas de gestión que consideren el mantenimiento de las fracciones finas de la copa en el sistema forestal tras las intervenciones selvícolas (BALBOA, 2005). Sin embargo, la aportación de estos restos selvícolas al estrato superficial puede suponer un aumento en la carga de combustible que incrementa el riesgo de incendio forestal en la masa (REINDHART et al. 2006; SCOTT & REINHARDT, 2001). Se debe buscar, por tanto, un equilibrio entre una gestión selvícola preventiva y la sostenibilidad del sistema forestal, como puede ser la trituración de los restos de poda y su distribución por el suelo forestal (GRAHAM et al. 2004). Por otro lado, este trabajo ha mostrado que las podas, junto con las claras, pueden modificar la estructura de la masa reduciendo el riesgo de inicio y propagación de un incendio de copas, siendo la combinación de ambas intervenciones la estrategia selvícola más eficaz. Las ecuaciones desarrolladas para la estimación de los parámetros de la función de Weibull a partir de variables sencillas de rodal aportan una herramienta sencilla para la estimación de las variables *CBD* y *CBH* bajo diferentes escenarios selvícolas y su efecto en el riesgo de incendio.

6. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado una primera evaluación del efecto de la poda en masas de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* dentro de una red de parcelas pionera en la silvicultura atlántica de coníferas enfocada a la producción de madera de calidad. El seguimiento exhaustivo de los ensayos ha permitido generar una importante fuente de información para la definición de esquemas de poda acordes con cada especie y la optimización de la intervención para producir madera libre de nudos. Asimismo, se han podido definir unos primeros modelos para el mejor entendimiento del efecto de la poda en el crecimiento y desarrollo de las especies, así como otros aspectos de sostenibilidad del sistema forestal como el riesgo de inicio y propagación de un fuego de copas o el balance nutricional y el contenido de carbono. La información aportada en este trabajo resulta, por tanto, de gran valor para gestores forestales, investigadores y usuarios de la industria forestal y de la madera. Asimismo, futuros trabajos permitirán mejorar los modelos desarrollados y estimar la calidad de los productos para los distintos esquemas de gestión que incluyan podas y claras, y un mayor rango de edades, favoreciendo la toma de decisiones dentro de una silvicultura preventiva que garantice la producción de madera de calidad y la sostenibilidad del sistema forestal.

7. Agradecimientos

A los directores de tesis, Juan Gabriel Álvarez González y Juan Pedro Majada Guijo. A los compañeros del SERIDA, CETEMAS, Universidad de Oviedo y Universidad de Santiago de Compostela (Grupo UXFS), que colaboraron en los trabajos de campo y/o laboratorio. A Roque Julio Rodríguez Soalleiro, que ayudó en el diseño e inicio de la línea de investigación de este estudio. Gracias al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación de A. Hevia mediante una beca predoctoral del Programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU-MEC, AP2006-03890; BOE 109, 07/05/2007). Esta comunicación está basada en la tesis doctoral de A. Hevia.

8. Bibliografía

- AGEE, J.K.; SKINNER, C.N.; 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *For. Ecol. Manage.* 211 83-96
- ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; KHOURI, E.A.; CAMARA-OBREGON, A.; CASTEDO-DORADO, F.; BARRIO-ANTA, M.; 2011. Effects of foliar nutrients and environmental factors on site productivity in *Pinus pinaster* Ait. stands in Asturias (NW Spain). *Ann. For. Sci.* 68(3) 497-509
- ARIAS-RODIL, M.; 2009. Desarrollo de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus pinaster* en Asturias. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 34 pp.
- ARIAS-RODIL, M.; 2015. Development of a dynamic stand growth model and optimization of the management of *Pinus pinaster* Ait. In Asturias. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- ARIAS-RODIL, M.; CASTEDO-DORADO, F.; CÁMARA-OBREGÓN, A.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; 2015. Fitting and Calibrating a Multilevel Mixed-Effects Stem Taper Model for Maritime Pine in NW Spain. *PLoS ONE* 10(12) e0143521.
- BALBOA, M.A.; 2005. Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 244 pp.
- BARÁ, S.; 1991. Fertilización forestal. Colección Técnica. Consellería de Agricultura, Ganadería y Montes. Xunta de Galicia. 143 pp. Santiago de Compostela.
- BASTIEN, Y.; 2005. Arbres-Objectifs - Elagage artificiel. ENGREF Nancy. 21 pp.
- BIGING, G.S.; 1984. Taper equations for second growth mixed conifers of Northern California. *For. Sci.* 30 1103-1117
- BONNEAU, M.; 1995. Fertilisation des forêts dans les Pays tempéres. ENGREF. Nancy. 368 pp.
- BREDENKAMP, B.V.; MALAN, F.S.; CONRADIE, W.E.; 1980. Some effects of pruning on growth and timber quality of *Eucalyptus grandis* in Zululand. *S. Afr. For. J.* 114 29-34
- CÁMARA, A.; 2006. Producción de biomasa en varias especies forestales en Asturias. Fundación Asturiana de la Energía (FAEN). 49 pp.
- CANGA, E.; 2008. Crecimiento y producción de pinares regulares de *Pinus radiata* D. Don en Asturias. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. 162 pp.
- CAREY, H.; SCHUMANN, M.; 2003. Modifying wildfire behavior - the effectiveness of fuel treatments. The status of our knowledge. National Community Forestry Center, Southwest Region Working Paper 2
- CHAUCHARD, L.M.; OLALDE, M.; 2005. Poda del pino radiata en Euskadi. Diputación Foral de Guipuzkoa. 15 pp.
- COURDIER, F.; SINDOU, C.; BERT, D.; 2002. Effet de l'élagage artificiel sur la croissance et le statut social du Pin maritime dans les Landes de Gascogne. *Revue Forestière Française.* LIV 3 239-252
- CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; WAKIMOTO, R.H.; 2003. Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *Int. J. Wildland Fire* 12(1) 39-50

- DANS DEL VALLE, F.; FERNÁNDEZ DE ANA-MAGÁN, F.J.; ROMERO, A.; 1999. Manual de selvicultura del pino radiata en Galicia. Proxecto Columella. Escola Politécnica Superior de Lugo. 199 pp.
- DIÉGUEZ-ARANDA, U.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; BALBOA-MURIAS, M.A.; BARRIO-ANTA, M.; CASTEDO-DORADO, F.; CRECENTE-CAMPO, F.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, J.M.; GORGOSO-VARELA, J.J.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; PÉREZ-CRUZADO, C.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ROJO-ALBORECA, A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. 268 pp. + CDRom.
- FANG, Z.; BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L.; 2000. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *For. Sci.* 46 1-12
- GERRAND, A.M.; MEDHURST, J.L.; NEILSEN, W.A.; 1997. Research results for thinning and pruning eucalypt plantations for sawlog production in Tasmania Forestry, Tasmania. 209 pp.
- GRAHAM, R.T.; MCCAFFREY, S.; JAIN, T.B. (Tech Ed.); 2004. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. RMRS-GTR-120. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 43 pp.
- HEVIA, A.; 2013. Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias. Tesis doctoral. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela. 419 pp.
- HEVIA, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MAJADA, J.; 2016a. Comparison of pruning effects on tree growth, productivity and dominance of two major timber conifer species. *For. Ecol. Manage.* 374 82-92
- HEVIA, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MAJADA, J.; 2016b. Effects of pruning on knotty core taper and form of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. *Eur. J. Wood. Prod.* 74(5) 741-750
- HEVIA, A.; CRABIFFOSSE, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; MAJADA, J.; 2017. Novel approach to assessing residual biomass from pruning: A case study in Atlantic *Pinus pinaster* Ait. timber forests. *Renew. Energ.* 107 620-628
- INGLIS, C.S.; CLELAND, M.R.; 1982. Predicting final branch size in thinned radiata pine stands. Rotorua, FRI. Bulletin 3. 17 pp.
- KOZAK, A.; 1988. A variable-exponent taper equation. *Can. J. For. Res.* 18(11) 1363-1368
- KOZAK, A.; 2004. My last words on taper equations. *For. Chron.* 80(4) 507-515
- MACLAREN, J.P.; 1993. Radiata pine growers manual. New Zealand Ministry of Forestry. Forest Research Institute (FRI). Bulletin 184. 140 pp.
- MAGUIRE, D.A.; KERSHAW, J.A.; HANN, D.W.; 1991. Predicting the effects of silvicultural regime on branch size and crown wood core in Douglas fir. *For. Sci.* 37(5) 1409-1428
- MENESES, M.; GUZMAN, S.; 2000. Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile. *Bosque* 21(2) 85-93
- MERINO, A.; REY, C.; BRAÑAS, J.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Inv. Agr. Sist. Rec. F.* 12 85-98
- MEYERS, S.P.; 1995. Profit potential from pruning: A look from down Under. The economics of commercial pruning and certification in New Zealand. 14 pp.

- MONTAGU, K.D.; KEARNEY, D.E.; SMITH, R.G.B.; 2003. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production – a review. *For. Ecol. Manage.* 179 1-13
- O'HARA, K.L.; 1991. A biological justification for pruning in coastal Douglas-fir stands. *West. J. Appl. For.* 6(3) 59-63
- O'HARA, K.L.; 2007. Pruning wounds and occlusion: A long-standing conundrum in forestry. *J. For.* 105(3) 131-138
- PETRUNCIO, M.; BRIGGS, D.; BARBOUR, R.J.; 1997. Predicting pruned branch stub occlusion in young, coastal Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 27 1074-1082
- PINKARD, E.A.; BEADLE, C.L.; 1998. Effects of green pruning on growth and stem shape of *Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden) Maiden. *New For.* 15 107-126
- PRIVATE FORESTS TASMANIA.; 2004. Farm Forestry Series Radiata Pine Pruning for Clearwood.
- REINHARDT, E.D.; SCOTT, J.; GRAY, K.; KEANE, R.; 2006. Estimating canopy fuel characteristics in five conifer stands in the western United States using tree and stand measurements. *Can J Forest Res* 36 2803-2814
- RODRÍGUEZ, F.; 2005. Modelos de producción de las choperas del Valle del Cinca. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. 212 pp.
- RODRÍGUEZ, F.; 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia. 268 pp. + CDRom.
- RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; CELA-GONZÁLEZ, M.; MANSILLA-VÁZQUEZ, P.; VEGA-ALONSO, P.; GONZÁLEZ-ROSALES, M.; RUÍZ-ZORRILLA, P.; VEGA-ALONSO, P.; 1997. Manual técnico de selvicultura del pino pinaster. Proxecto Columella. Escola Politécnica Superior de Lugo. 75 pp.
- SANDO, R.W.; WICK, C.H.; 1972. A method of evaluating crown fuels in forest stands. USDA Forest Service. Research paper NC-84. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 11 pp.
- SAS INSTITUTE INC.; 2004a. SAS/ETS®. 9.1. User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- SAS INSTITUTE INC.; 2004b. SAS/STAT®. 9.1. User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- SCOTT, J.H.; REINHARDT, E.D.; 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service. Research Paper, RMRS-RP-29. USA. 59 pp.
- SUTTON, W.R.J.; CROWE, J.B.; 1975. Selective pruning of radiate pine. *N. Z. J. For. Sci.* 5(2) 171-195
- TRINCADO, G.; 2006. Dynamic modeling of branches and knot formation in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) trees. PhD Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- VAN WAGNER, C.E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7 24-34
- WARDLAW, T.J.; NEILSEN, W.A.; 1999. Decay and other defects associated with pruned branches of *Eucalyptus nitens*. *Tasforests* 11 49-57