

Poda en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la Patagonia andina, Argentina

Pruning *Pseudotsuga menziesii* in the Patagonian Andes, Argentina

Miguel Davel

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), CC14, CP 9200, Esquel, Chubut, Argentina, tel/fax: +54 2945 453948, mdavel@ciefap.org.ar

SUMMARY

In Patagonia Douglas-fir is grown to produce high quality timber; thus plantations should be pruned. To prune a stand, the proportion of green crown to be removed (pruning severity) and the number of lifts should be defined. The objectives of this research were to quantify the effect of pruning severity on tree growth and to select indicator variables to determine when to carry out pruning lifts. To achieve the first objective a trial was established on low, medium and highly productive sites. Pruning severities applied were heavy (65 % of the total tree height), intermediate (50 %), light (25 %) and control trees (no pruning). To accomplish the second objective the association between five easy to measure variables (diameter at breast height (DBH), total height, diameter over stubs height, pruning height, maximum diameter over stubs of previous pruning) and maximum diameter over stubs (DOS) was studied on 656 trees. Removing more than 25 % of the green crown progressively diminished subsequent tree growth. On highly productive sites, medium to high pruning severity did not reduce diameter growth as much as it did on low quality site, when carrying out second and third lifts. Diameter at breast height (DBH), and DBH along with previous lift height, was the more highly correlated variable with a maximum diameter over stubs.

Key words: Douglas-fir, pruning opportunity and severity, number of lifts.

RESUMEN

Las plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* (pino oregón) en la Patagonia tienen por objetivo la producción de madera de calidad libre de nudos. Para realizar la poda, se debe definir la severidad y el número de realces de poda a realizar. El presente trabajo tuvo como objetivos: a) cuantificar el efecto de diferentes severidades de poda sobre el crecimiento de los árboles y b) determinar qué variables medir para definir la oportunidad de realizar los distintos realces de poda. Para el primer objetivo se instalaron tres ensayos de severidad de poda, cada uno en un sitio de diferente productividad. Las severidades de poda aplicadas fueron: fuerte (65 % de la altura total del árbol), intermedia (50 %), suave (25 %) y se dejaron árboles testigo (sin poda). Para el segundo objetivo se determinó el grado de asociación entre cinco variables de fácil medición (diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, altura del diámetro máximo sobre muñón, altura de poda, diámetro máximo sobre muñón de la poda anterior) y el diámetro máximo sobre muñón (DMSM) en 656 individuos. Aumentar la severidad de poda por encima del 25 % de la altura del árbol disminuyó progresivamente el crecimiento. En el sitio más productivo, las podas medias a fuertes posteriores al primer realce produjeron menor disminución del crecimiento en diámetro que en los otros sitios. Para el primer realce, el DAP fue la variable más correlacionada al DMSM, mientras que, para los realces posteriores, estas variables fueron el DAP y la altura del realce anterior.

Palabras clave: pino oregón, oportunidad y severidad de poda, número de realces.

INTRODUCCIÓN

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco (pino oregón) es la segunda especie en importancia, en cuanto a superficie forestada, situándose detrás de *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws. (pino ponderosa) dentro de las coníferas cultivadas en la región Andino Patagónica Argentina. Por otro lado, su madera es la que tiene mayor demanda y la que alcanza mayor valor en el mercado, llegando a importar de Chile cuando el mercado local no alcanza a cubrir la demanda existente. En la región es apreciada por los crecimientos que presenta, por su sanidad y por la calidad de su madera, reconocida a nivel internacional.

En la Patagonia se tiene como objetivo de las plantaciones, la producción de madera de calidad y, cuando este es el objetivo, el manejo de las mismas debe ser analizado desde sus primeras etapas. Dentro del manejo, la poda es la actividad más relacionada a la obtención de madera de calidad. Este tratamiento, para que se vea reflejado en la calidad y cantidad de la producción, debe cumplir con una serie de requisitos técnicos y debe estar asociado a los raleos, al turno de corta y a las condiciones de sitio adecuadas. Entre los temas a considerar se encuentran: oportunidad, severidad y número de realces y los efectos que tienen estas variables sobre el crecimiento y sobre la calidad del tratamiento.

Meneses y Velazco (1992) mencionan la importancia de la primera poda en la definición del momento de realización de los realces siguientes. El diámetro máximo sobre muñón (DMSM) es la variable más utilizada para definir el momento de realizar las podas (Sutton y Crowe 1975). En un plan de podas bien realizado, el diámetro máximo sobre muñón de un determinado realce, debe ser igual al del anterior. Si es notoriamente mayor, la poda se convierte en una actividad superflua desde el punto de vista cualitativo y en un costo sin ninguna posibilidad de justificarse en el tiempo. Por otro lado, se debe poner énfasis en obtener un pequeño diámetro del cilindro con defectos (DCD) y no la compensación de un cilindro defectuoso mayor con un turno más largo (Knowles *et al.* 1987, Todoroki 2003).

Por lo tanto, conocer el valor del diámetro máximo sobre muñón, es fundamental para determinar el momento de realizar cada realce de poda. Para su estimación existen distintas metodologías propuestas por diferentes autores, Chauchard y Olalde (2005) las dividen en tres:

1. La forma tradicional, que consiste en relacionar el diámetro máximo sobre muñón con otras variables independientes de fácil medición. Las variables se relacionan a través de regresiones múltiples. En general se ajustan funciones independientes para la primera poda y para los realces de poda posteriores. Algunos ejemplos son los siguientes: Knowles *et al.* (1987), para *Pinus radiata* D. Don (pino radiata) en Nueva Zelanda, obtuvieron dos ecuaciones [1 y 2] para estimar el diámetro máximo sobre muñón de los distintos realces de poda a partir del DAP, la altura total, el diámetro de la rama más gruesa sobre el verticilo del diámetro máximo sobre muñón y la altura del diámetro máximo sobre muñón.

$$DMSM = 1,173 + 0,935 * DADOS + 0,135 * MDR + 0,0007 * MDR^2 - 0,251 * HDMSM + 0,045 * HDMSM^2 \quad [1]$$

$$DADOS = DAP * \frac{(HT - HDMSM)}{(HT - 1,4)} \quad [2]$$

Donde:

DMSM: diámetro máximo sobre muñón (cm).

HT: altura total (m).

DAP: diámetro a 1,3 m de altura (cm).

HDMSM: altura del diámetro máximo sobre muñón (m).

MDR: diámetro de la rama más gruesa sobre el verticilo del diámetro máximo sobre muñón (mm).

Fassola *et al.* (1999), para *Pinus taeda* L. (pino taeda) en Argentina, ajustó una función para la primera poda donde la variable independiente utilizada es el DAP [3].

$$DMSM = 4,8325 + 0,8137 * DAP \quad [3]$$

2. Otra forma de estimar el diámetro máximo sobre muñón es la propuesta por Andenmatten *et al.* (2003), que se basa en utilizar una función de perfil de fuste para estimar el

diámetro del mismo a la altura del diámetro máximo sobre muñón (*Dx*) y sumarle a ese valor de diámetro, un valor de engrosamiento *E* (en centímetros) estimado preliminarmente para la especie considerada [4] y [5].

$$DMSM = Dx + E \quad [4]$$

Donde

$$E = DMSM_{observado} - Dx \quad [5]$$

3. Otra metodología es la propuesta por Chauchard y Olalde (2005), que consiste en ajustar una función de perfil de fuste sobre los muñones que quedan después de la poda. En el modelo seleccionado entran como variables independientes el DAP (cm) y la altura del verticilo en metros (*Hv*) [6].

$$DMSM = -5,9079 + 0,011 * DAP^2 + 5,6361 * DAP^{0.5} - 0,0516 * DAP * Hv \quad [6]$$

Con respecto a la severidad de la poda y al número de realces, cuanto menos severo se puede, más rápido se va a tener que realizar el segundo realce y, por otro lado, cuanto más severo se puede más se va a ver afectado el crecimiento, por lo tanto, se debe buscar un balance entre estos factores. En distintos trabajos realizados en coníferas, en general se recomienda no realizar podas superiores al 35 - 50 % de copa viva en tres o cuatro realces (Sutton y Crowe 1975, Hubert y Courraud 1987, Meneses y Velazco 1992, Rivera y Sobarzo 1992, Kurtz y Ferruchi 2000). Además, el número de brotes adventicios o epicórmicos puede aumentar con la severidad y frecuencia de las podas y este efecto se ve potenciado con la aplicación de raleos (Barrio *et al.* 2009).

Como se puede observar, producir madera libre de nudos no sólo es podar, sino que se trata de la combinación de varios factores que deben ser analizados en su conjunto, a fin de tomar las decisiones de manejo correctas para cada situación.

Con base en lo expuesto se realizó el presente trabajo, que tiene como objetivos evaluar el efecto de la aplicación de diferentes severidades de poda sobre el crecimiento del rodal, a fin de determinar hasta qué altura se puede podar en cada realce sin afectar seriamente el crecimiento y determinar qué variables de fácil medición se pueden utilizar para definir la oportunidad de realizar los distintos realces de poda. Una vez determinados estos dos factores, se definirá el número de realces a realizar en cada calidad de sitio.

Siguiendo los estudios mencionados anteriormente, en otras especies de coníferas, la severidad de poda no debería superar el 40 - 50 % de la altura total para llegar a los 6 m de fuste podado, en dos o tres realces de poda, sin afectar seriamente el crecimiento. Por otro lado, para estimar el DMSM, a fin de determinar el momento oportuno de realizar los distintos realces de poda, las variables más estrechamente

relacionadas al mismo deberían ser el DAP, la altura total, el diámetro de la rama más gruesa sobre el muñón, la altura del diámetro máximo sobre muñón y la altura de poda.

Si bien la superficie actualmente forestada con esta especie en la región es pequeña, es necesario generar una base de información sobre los efectos que tiene la silvicultura sobre el crecimiento y la cantidad y calidad de los productos que se pueden obtener del bosque. Esta información permitirá, tanto a los actuales como a los potenciales inversores privados y estatales, como a los gobiernos provinciales, tener una base para la toma de decisiones en el manejo de sus plantaciones.

MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio abarcó la zona donde actualmente se desarrollan las plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la Patagonia argentina. Las mismas se encuentran distribuidas en una franja que se extiende entre los 40° 00' y los 43° 00' S y desde los 71° 00' a los 71° 40' O, abarcando parte de las provincias de Río Negro, Neuquén y Chubut (Davel 1998) (figura 1).

En esta área se seleccionaron tres plantaciones localizadas en tres sitios de diferente productividad: alta (ensayo 1), media (ensayo 2) y baja (ensayo 3) (cuadros 1 y 2). Las diferencias de productividad se definieron en base al

índice de sitio (IS) que para la especie en la región, alcanza valores de 9 a 21 para una edad de referencia de 20 años (Davel y Ortega 2003).

Para la selección de las plantaciones se tuvieron en cuenta las siguientes características: a) homogeneidad en las condiciones del rodal; b) diámetro medio entre 10 -15 cm; c) no intervenidas con podas; d) ubicadas en sitios de diferente productividad y e) con accesibilidad todo el año.

El ensayo 1 está ubicado en la mejor exposición del terreno para la región (menor insolación y mayor protección del viento), tiene el mayor valor de precipitación y suelo profundo y esto se ve reflejado en el mayor valor de índice de sitio. En el otro extremo está el ensayo 3, expuesto a los fuertes vientos de la región, con el menor valor de precipitación y la menor profundidad de suelo. En una situación intermedia se encuentra el ensayo 2. Esto se ve reflejado en los diferentes valores del índice de sitio (cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Características topográficas, climáticas y edáficas de los sitios donde se instalaron los ensayos de severidad de poda.

Topography, climate and soil of the sites where the trials were installed.

Variable	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Exposición del terreno	SE	E	SO
Pendiente (grados)	22	20	5
Altura sobre el nivel del mar (m s.n.m.)	880	580	720
Precipitación media anual (mm)	1.200	1.000	750
Profundidad de suelo (m)	> 1	> 1	0,70
Textura del suelo	Franca	Franca	Franca arenosa

Cuadro 2. Parámetros descriptivos de los rodales donde se instalaron los ensayos de severidad de poda, antes de aplicados los tratamientos.

Descriptive parameters of the stands where the trials were installed (before treatments).

Variable	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Edad (años)	12	14	21
Índice de sitio (IS)	19	14	9
Altura dominante (m)	10,1	8,7	9,8
Altura media (m)	8	8	9
Diámetro cuadrático medio (cm)	13,6	14,8	16,9
N° de árboles ha ⁻¹	1.367	800	600
Índice de densidad de Reineke (IDR)	512	343	320
Área basal (m ² ha ⁻¹)	19,8	14,0	13,5
Volumen total c/c (m ³ ha ⁻¹)	83,2	54,7	59,1

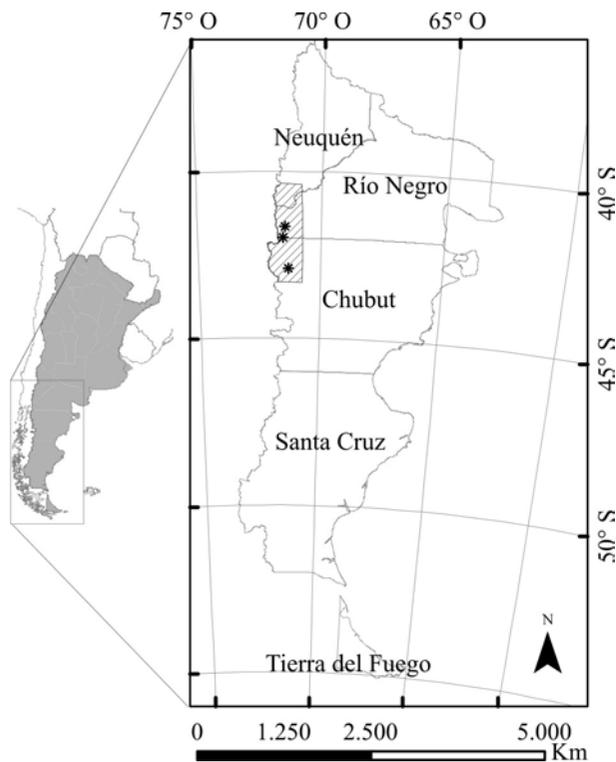


Figura 1. Área donde se desarrollan las plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* en la Patagonia andina argentina y ubicación de los tres ensayos (1 - arriba-, 2 -medio - y 3 - abajo -).
 Douglas-fir plantations area in the Patagonian Andes, Argentina, and location of the three trials.

La plantación del ensayo 1 tiene una densidad mayor que las otras dos, alcanzando un valor de IDR de 512 (cuadro 2). La plantación del ensayo 3 tiene un diámetro cuadrático medio superior a las otras. Lamentablemente no se encontraron suficientes plantaciones que estén en el momento adecuado para iniciar su manejo, que cubrieran las distintas calidades de sitio y que cumplieran con las otras condiciones ya mencionadas. A pesar de esto, los árboles seleccionados en estas plantaciones tienen valores de DAP, altura y DMSM similares (cuadro 3).

Evaluación del efecto de la severidad de poda sobre el crecimiento en diámetro y altura. El diseño de los ensayos fue completamente al azar y se consideró como unidad de muestreo al árbol individual. Los árboles seleccionados como unidades de muestreo debían ser dominantes o co-dominantes de buena forma, vigorosos y distribuidos homogéneamente en la plantación. A los 4 - 5 árboles vecinos del árbol seleccionado, se les aplicó el mismo tratamiento que a este a fin de evitar el efecto de borde. También se dejaron árboles testigo alrededor del testigo seleccionado. Los tratamientos consistieron en la aplicación de diferentes severidades de poda: fuerte (65 % de la altura total del árbol), intermedia (50 %), suave (25 %) y se dejaron árboles testigo (sin poda). En el caso del ensayo 3, debido a la mayor densidad y edad, al momento de la primera poda los árboles presentaban ramas secas en la parte inferior, por lo tanto, se podó el 25 y 50 % de la copa verde a fin de que la severidad de poda sea similar en los tres ensayos.

Las podas se realizaron periódicamente, manteniendo el valor del diámetro máximo sobre muñón hasta llegar a una altura total de poda de 6 m. La primera medición se realizó al aplicar los tratamientos y las posteriores mediciones, anualmente luego de pasado el período de crecimiento

correspondiente. Las mediciones realizadas en los árboles muestra y sus vecinos fueron las siguientes: diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total, diámetro máximo sobre el muñón (DMSM), altura del diámetro máximo sobre el muñón (HDMSM), altura de poda (HPOD) y diámetro en la base de la copa viva antes y después de cada realce de poda (DBCVa y DBCVd) (cuadro 3).

En estos árboles se evaluó el efecto de la severidad de poda sobre el crecimiento en DAP y altura. Como se puede observar, por los valores de DAP y diámetro máximo sobre muñón, los árboles dominantes ya presentaban un DAP mayor al ideal (8-10 cm) para la realización de la primera poda en los tres ensayos (cuadro 3). Para evaluar si las diferencias entre tratamientos eran significativas, desde el punto de vista estadístico, se realizó un análisis de varianza y para evaluar diferencias entre medias de tratamientos se aplicó la prueba de Tukey.

Estimación del diámetro máximo sobre muñón. La determinación del diámetro máximo sobre muñón es de fundamental importancia para determinar el momento exacto de realizar las podas. Davel y Sepúlveda (2000) encontraron, en un estudio preliminar para *Pseudotsuga menziesii*, que el DAP es la variable que mejor explica las variaciones del diámetro máximo sobre muñón de la primera poda, dentro del grupo de variables analizadas en su estudio (altura total, altura de poda, altura del diámetro máximo sobre el muñón, diámetro de la rama más gruesa sobre el diámetro máximo sobre el muñón). En base a este trabajo se ajustó, con información de 656 árboles de toda la región (cuadro 4), un modelo que permite estimar el diámetro máximo sobre muñón de la primera poda a partir del DAP [7].

$$DMSM = a + b * DAP \quad [7]$$

Cuadro 3. Resumen de los árboles muestra por tratamiento de los tres ensayos de severidad de poda (N: número de árboles por tratamiento; DAP: diámetro del fuste a 1,3 m desde el suelo; DMSM: diámetro máximo sobre muñón en el fuste podado; HPOD: altura de poda; HDMSM: altura del DMSM y DBCVd: diámetro del fuste en la base de la copa viva después de la poda).

Summary of the pruned trees per treatment for the three trials (N: number of trees DMSM: Maximum diameter over stub; HPOD: pruning height; HDMSM: DMSM height and DBCVd: diameter at the base of live crown after pruning).

Ensayo	Tratamiento	N	DAP (cm)	Altura media (m)	DMSM (cm)	HPOD (m)	HDMSM (cm)	DBCVd (cm)
1	25 %	18	15,3	9,1	19,8	2,3	32,3	14,4
	50 %	18	15,8	9,4	19,9	4,7	35,7	10,2
	65 %	18	15,8	9,0	20,6	5,8	37,7	7,4
	T	18	16,6	9,2	-	-	-	-
2	25 %	6	15,9	8,5	21,0	2,2	25,6	14,7
	50 %	6	15,5	8,2	20,4	3,8	24,4	10,2
	65 %	6	16,3	8,7	21,5	5,6	27,4	6,4
	T	6	15,5	8,1	-	-	-	-
3	25 %	24	17,2	9,1	21,7	4,6	33,0	12,4
	50 %	24	17,2	9,3	20,8	6,0	39,0	8,9
	T	24	16,3	9,0	-	-	-	-

Donde:

DMSM: diámetro máximo sobre el muñón (cm).

a, *b*: coeficientes a ser estimados.

DAP: diámetro a la altura del pecho (medido a 1,3 m desde el suelo, cm).

Este modelo se validó, mediante el empleo de medidas de error (REMC) [8] y sesgo (DIFA) [9], con una base de datos diferente a la utilizada para el ajuste del mismo y formada por 103 árboles (cuadro 4).

$$REMC = \sqrt{\sum(o - e)^2 / n} \quad [8]$$

$$DIFA = \sum(o - e) / n \quad [9]$$

Donde:

o = observado.

e = estimado.

Para estimar el diámetro máximo sobre muñón de los realces posteriores a la primera poda, se evaluó la relación de este con otras variables de más fácil medición. Las variables evaluadas fueron las siguientes: *DAP*, altura total (*HT*), altura de la poda anterior (*HPODa*), diámetro máximo sobre muñón de la poda anterior (*DMSMa*) y altura del diámetro máximo sobre muñón de la poda anterior (*HDMSMa*). Para evaluar esta relación se realizó un análisis de regresión múltiple utilizando como base de datos la información obtenida de 324 árboles de toda la región con más de un levante de poda (cuadro 4). La calidad del ajuste fue analizada a través del coeficiente de determinación múltiple, que indica el porcentaje de la variación total explicado por la regresión. Por último, el modelo fue evaluado mediante medidas de error (REMC) y sesgo (DIFA). En este caso, por no poder contar con más información, para validar el modelo se utilizó la misma base de datos utilizada para el ajuste (cuadro 4).

RESULTADOS

Efecto de las distintas severidades de poda sobre el crecimiento en DAP y altura total. Los resultados obtenidos en el ensayo de alta productividad (ensayo 1), luego de pasados tres períodos de crecimiento, indicaron que todos los tratamientos disminuyeron el crecimiento en *DAP* con respecto al testigo sin poda. Los árboles podados hasta el 65 % de la altura total, crecieron un 40 % (2,29 cm) menos que los árboles testigo, mientras que los árboles podados hasta el 50 % y el 25 % de la altura total crecieron un 20 % (1,16 cm) y un 4,6 % (0,26 cm) menos que los testigos, respectivamente (figura 2A). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0,0001$), mientras que la prueba de Tukey indicó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre todos los tratamientos menos entre el testigo y la poda al 25 %.

En cuanto al crecimiento en altura no se observaron diferencias entre los distintos tratamientos (figura 2A), lo que se corroboró con el análisis de varianza ($P = 0,30$). En el caso de la altura, las diferencias no fueron significativas y no variaron en los tres años de medición.

En el sitio de productividad media (ensayo 2), el estudio comenzó un año después que los otros dos, por lo tanto, los resultados corresponden a dos años de medición. Los árboles podados hasta el 65 % y 50 % de la altura total, crecieron un 59 % (1,83 cm) y un 34 % (1,05 cm) menos que el testigo no podado. Mientras que la poda más suave (25 %) no le restó crecimiento a los árboles con respecto al testigo (figura 2B).

El análisis de varianza mostró que las diferencias entre tratamientos fueron significativas ($P = 0,0028$). La prueba de Tukey indicó que las diferencias observadas fueron significativas ($P < 0,05$) entre la poda más fuerte y los otros tres tratamientos. No se observaron diferencias entre las otras dos severidades de poda y el testigo.

En cuanto al crecimiento en altura, si bien se observa una tendencia (figura 2B), las diferencias observadas no

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las bases de datos utilizadas para el ajuste de los modelos que permiten estimar el diámetro máximo sobre muñón (*DMSM*) de la primera poda (656 árboles) y de los realces posteriores (324 árboles). Entre paréntesis se presentan los estadísticos de la base de validación utilizada para el modelo que estima el *DMSM* de la primera poda (103 árboles). *DMSMa*: diámetro máximo sobre muñón de la poda anterior.

Statistics of the database used to adjust the model to estimate the maximum diameter over stub (*DMSM*) of the first pruning and the subsequent lift after the first pruning. In parentheses is the statistical database validation of the first pruning.

Estadístico	Primera poda		Realces posteriores				
	<i>DAP</i> (cm)	<i>DMSM</i> (cm)	<i>DAP</i> (cm)	Altura total (m)	Altura poda anterior (m)	<i>DMSMa</i> (cm)	Altura del <i>DMSMa</i> (m)
Media	15,4 (15,4)	20,1 (20,0)	20,7	12,0	3,4	21,2	0,56
Máximo	26,5 (26,5)	34,6 (34,0)	37,9	17,3	5,2	34,6	3,44
Mínimo	5,7 (7,6)	7,0 (9,6)	10,8	6,3	1,8	11,0	0,07
Varianza	12,7 (12,6)	23,6 (24,6)	21,4	2,4	0,8	22,7	0,49
Desviación estándar	3,6 (3,6)	4,9 (5,0)	4,6	1,6	0,9	4,8	0,71

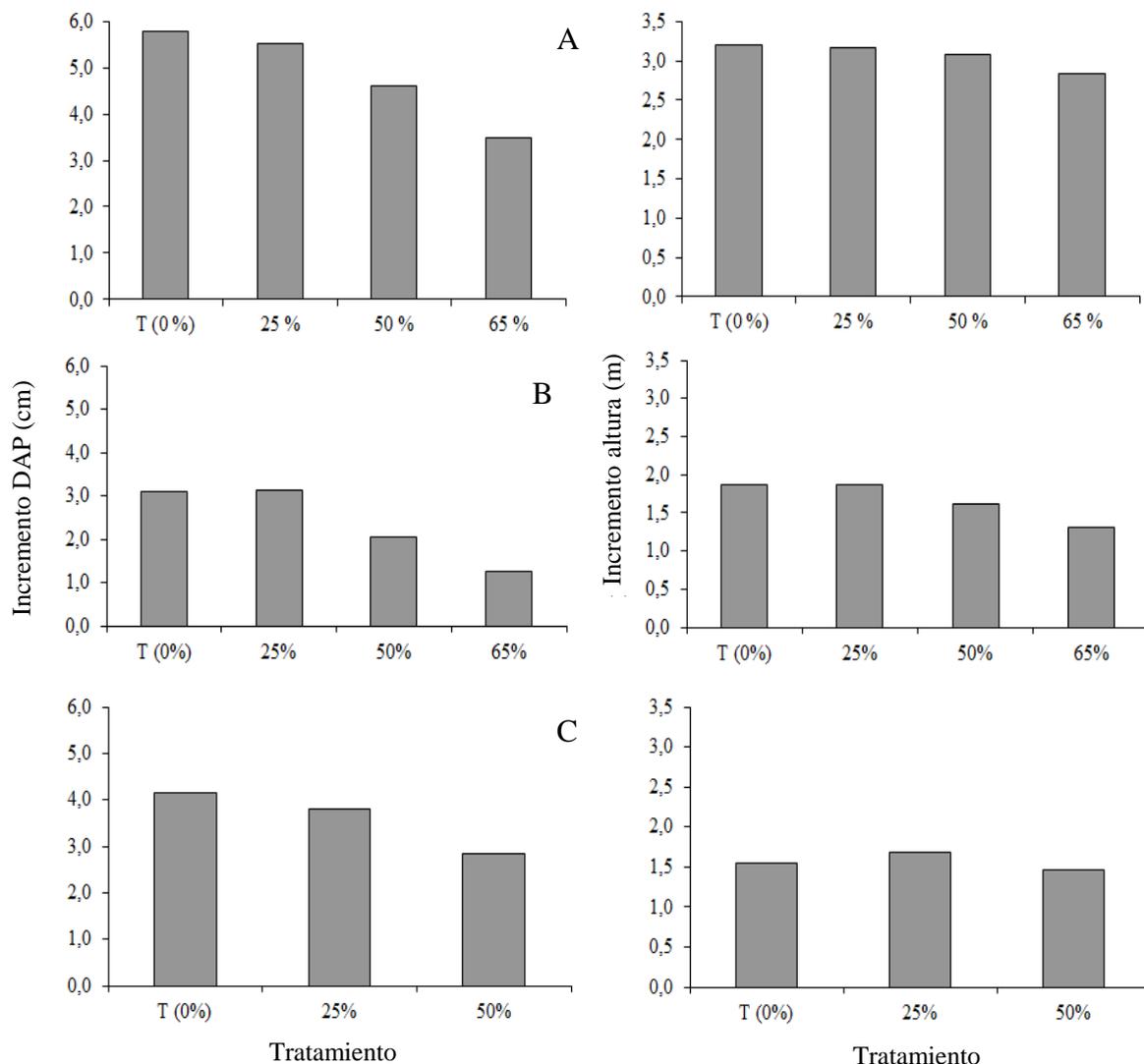


Figura 2. Incremento en DAP y altura total para cada uno de los tratamientos de severidad de poda (%). A) Luego de tres años en el sitio de alta productividad (ensayo 1). B) Luego de dos años en el sitio de productividad media (ensayo 2). C) Luego de tres años en el sitio de productividad baja (ensayo 3).

Increase in DBH (left) and height (right) for each treatment pruning severity. A) High productivity site (trial 1), after three years. B) Average productivity site (trial 2) after two years. C) Site of low productivity (trial 3) after three years.

fueron significativas ($P = 0,1404$) en los dos años de instalado el ensayo.

En el sitio de productividad baja (ensayo 3) solo se aplicaron las severidades de poda suave (25 %) y media (50 %). Los árboles podados al 50 % crecieron, en el primer año, un 32 % menos que los testigos, mientras que los podados al 25 % crecieron un 8 % menos. Luego de tres años de evaluación, se encontraron diferencias significativas ($P = 0,0001$) en el incremento en diámetro. Estas diferencias corresponden (Tukey $P < 0,05$) a la poda media (50 %) con respecto a la poda suave (25 %) y al testigo, no habiendo diferencias entre estos dos últimos (figura 2C).

En cuanto al incremento en altura, no se observaron efectos por la severidad de poda y las diferencias no resultaron significativas ($P = 0,3194$) (figura 2C).

Se compararon las diferencias de crecimiento en diámetro observadas en el periodo de medición, de cada uno de los tratamientos con respecto al testigo, para cada uno de los ensayos (cuadro 5). Si bien las densidades iniciales de las tres plantaciones fueron diferentes, se observó que los efectos de la severidad de poda en las tres situaciones fueron similares. Por ejemplo, al primer año, realizando una poda del 50 % se observa que los árboles crecieron un 68 - 69 % de lo que crecieron los testigos no podados. Se observó que, en el sitio de alta productividad y dentro del periodo analizado, estas diferencias fueron disminuyendo con el tiempo. En el sitio de productividad media, las diferencias se mantuvieron o se incrementaron levemente y, por último, en el sitio menos productivo, las diferencias se han mantenido a lo largo de los tres años.

Estimación del diámetro máximo sobre muñón. En la primera poda, una de las decisiones más importantes es determinar el momento oportuno de realizar la primera intervención. Este momento está definido por el tamaño del diámetro máximo sobre el muñón (DMSM). Para poder estimar este diámetro se ajustó la ecuación [7], como se mencionó en la metodología, obteniéndose: $DMSM = 0,4021 + 1,2858 \times DAP$, con $R^2 = 0,90$ ($P < 0,0001$), datos en centímetros.

La validación del modelo dio muy bajos valores de error (8,95 %) y sesgo (-0,78), mostrando una muy leve sobrestimación del diámetro máximo sobre el muñón.

En los realces de poda posteriores, el mejor modelo para la estimación del diámetro máximo sobre muñón, según el análisis de regresión múltiple, resultó ser el representado por la ecuación [10]:

$$DMSM = 5,6414 + 0,9823 * DAP - 1,6486 * HPODa$$

$$R^2 = 0,88; P < 0,0001 \quad [10]$$

Donde:

DMSM: diámetro máximo sobre el muñón (cm)

DAP: diámetro a la altura del pecho (medido a 1,3 m desde el suelo en cm)

HPODa: altura de la poda anterior (m).

En este caso, además de conocer el DAP actual, se debe conocer la altura de la poda anterior. Esta relación permite determinar la oportunidad de realización de los realces de poda posteriores, es decir, cuando el diámetro

máximo sobre muñón del realce alcanza el mismo valor que el diámetro máximo sobre muñón del realce anterior. El resto de las variables analizadas no resultaron significativas. La validación de este modelo también muestra muy bajos valores de error (8,70 %) y sesgo (-0,001), siendo prácticamente insesgado.

Número de realces de poda a realizar en cada clase de sitio. Con base en los resultados obtenidos y según los crecimientos observados en la región (Davel 2008), se presentan en el cuadro 6, para cada sitio y cada tratamiento, el número de realces que se deberían realizar para llegar a un fuste libre de ramas de 6 m manteniendo constante el diámetro máximo sobre el muñón. Como se puede observar, podando un 25 % de la altura del árbol en cada realce, en todos los sitios se deben realizar no menos de cinco realces para llegar a los 6 m de fuste podado. En el caso de las podas media y fuerte se realizarían entre dos y tres realces en los dos mejores sitios.

DISCUSIÓN

En los tres sitios (productividad alta, media y baja) se observa una disminución importante del crecimiento en DAP a medida que aumenta la severidad de poda. Esta disminución se produce, principalmente, con podas superiores al 25 % de copa viva. El porcentaje en que disminuye este crecimiento es similar en las tres calidades de sitio, variando entre 7 % y 63 % para el primer año. Además, a igual severidad de poda, la reducción del crecimiento en diámetro fue similar en los tres ensayos, independientemente del sitio y de las diferentes densidades de los rodales.

En el sitio de productividad alta los árboles recuperan rápidamente el crecimiento en diámetro, mientras que en los otros dos sitios las diferencias de crecimiento se mantienen más o menos constantes, en el período analizado, posterior a la poda. Esto se debe seguir evaluando en un período más largo de años. En ninguno de los sitios se observa efecto de la severidad de poda sobre el crecimiento en altura.

Cuadro 5. Porcentaje de crecimiento en diámetro de cada tratamiento con respecto al testigo (100 %), para los tres años de medición de los tres ensayos.

Percentage increase in diameter of each treatment compared with the control (100 %) for the three years of measurement and for the three trials.

Ensayo	Tratamiento	Año 1 (%)	Año 2 (%)	Año 3 (%)
1	Testigo	100	100	100
	25 %	89	95	95
	50 %	68	72	80
	65 %	37	43	60
2	Testigo	100	100	-
	25 %	93	100	-
	50 %	69	66	-
	65 %	52	41	-
3	Testigo	100	100	100
	25 %	92	88	91
	50 %	68	61	68

Cuadro 6. Número de realces realizados para llegar a los 6 m de fuste podado para cada tratamiento y en cada calidad de sitio.

Number of pruning lift to be up to 6 m of stem pruning for each treatment and at each site quality.

Tratamiento	Nº de realces para llegar a los 6 metros de fuste podado		
	Sitio de alta productividad	Sitio de productividad media	Sitio de baja productividad
25 %	5	5	8
50 %	3	3	5
65 %	2	2	3

Sutton y Crowe (1975), en un trabajo realizado en *Pinus radiata* donde se evalúan el número de realces (1 a 4) en severidades de poda (20, 35, 50 y 60 % de copa viva), indican que todas las severidades de poda afectaron al crecimiento en diámetro entre 38 % y 57 %, valores que se encuentran dentro del rango hallado en el presente estudio.

Una de las decisiones más importantes es determinar la oportunidad para realizar la primera poda y los realces posteriores. En este aspecto se obtuvieron dos funciones que permiten estimar, con un error aceptable (inferior al 10 %), el diámetro máximo sobre muñón para distintos realces de poda.

El DAP presenta una fuerte relación con el diámetro máximo sobre muñón en la primera poda. Esto coincide con lo señalado por Fassola *et al.* (1999) para *Pinus taeda* y por Davel y Sepúlveda (2000) para *Pseudotsuga menziesii*. La relación encontrada para la primera poda indica que para obtener, por ejemplo, un diámetro máximo sobre muñón no mayor a 15 cm, se debe realizar la primera poda cuando los árboles más grandes del rodal tienen alrededor de 9 - 10 cm de DAP. Por otro lado, indica que el diámetro máximo sobre muñón aumentará alrededor de 1,28 cm por cada 1 cm de aumento en el DAP. Esto significa, según los crecimientos observados en la región en los distintos sitios y manejos, que por cada año que se atrase la primera poda el diámetro máximo sobre muñón se va a incrementar entre 1 y 3 cm por año, debiéndose alargar el turno de corta para producir la misma cantidad de madera libre de nudos.

Para los realces posteriores, el diámetro máximo sobre muñón también está muy relacionado con el DAP pero también depende de la altura de la poda anterior. Esta relación muestra que por cada centímetro que aumente el DAP, el diámetro máximo sobre muñón aumentará 0,98 cm y además que cuanto menor sea la altura de poda más rápido se va a tener que volver a podar para mantener constante el cilindro central con defectos.

En cuanto al número de realces, en los sitios de productividad alta y media, con una severidad de poda del 50 % y del 65 % se debería entrar a podar cada dos años para mantener el diámetro máximo sobre muñón y se deberían realizar tres y dos realces de poda, respectivamente, para llegar a los 6 m de fuste podado. Si se realizan podas hasta el 25 % de la altura, se debería entrar a podar anualmente y se deberían hacer cinco realces para obtener el mismo resultado.

En el sitio de baja productividad las podas suaves (25 %) implicarían ocho realces anuales para llegar a los 5,5 - 6 m de fuste podado, las podas fuertes (65 %) tres realces separados cada dos años y las podas medias (50 %) cinco realces, cada tres años, para cumplir con el mismo objetivo.

De acuerdo con estos resultados se recomienda, para las tres clases de sitio, realizar podas de una severidad no superior al 50 %, llegando a los 6 metros de fuste podado en tres realces para los sitios de productividad media y alta y en cinco realces para los sitios de baja productividad. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Sutton y Crowe (1975), Meneses y Velazco (1992) y Rivera

y Sobarzo (1992) en *Pinus radiata* y por Kurtz y Ferruchi (2000) en *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*. En este aspecto hay que tener en cuenta que, para el sitio de productividad media, la recomendación se basa en los resultados obtenidos de solo seis árboles.

En cuanto a las hipótesis planteadas se cumple que la severidad de poda no debe superar el 40 - 50 % de la altura total para llegar a los 6 m de fuste podado, en dos o tres realces de poda, sin afectar seriamente el crecimiento. Para estimar el diámetro máximo sobre muñón, en el primer realce de poda, la variable más estrechamente relacionada fue el DAP, mientras que para los realces posteriores fueron el DAP y la altura de poda. No se encontró una relación significativa entre el diámetro máximo sobre muñón y la altura total, el diámetro de la rama más gruesa sobre el muñón y la altura del diámetro máximo sobre muñón.

Como pasos a seguir, se debe analizar el efecto combinado de podas y raleos y estudiar el proceso de cicatrización para conocer la relación entre el diámetro máximo sobre muñón y el diámetro del cilindro con defectos. Además se debe complementar toda esta información con datos económicos para evaluar la rentabilidad de los tratamientos aplicados en las distintas condiciones de sitio.

AGRADECIMIENTOS

Al CIEFAP y al Proyecto Forestal de Desarrollo que apoyaron y financiaron este estudio. A los productores que nos permitieron instalar los ensayos en sus predios. A Fabián Momberg, Eduardo Sepúlveda, Martín Hourcade, Hernán Coulomb, Gabriel De María, Matías Acetti, Gustavo Salvador, Mauro Sarazola y Javier Pérez que participaron en la instalación y medición de los ensayos.

REFERENCIAS

- Andenmatten E, H Fassola, F Letourneau, P Ferrere, E Crechi. 2003. Predicción de diámetro sobre muñones en *Pinus taeda* L. origen marion mediante curvas de perfil de fuste. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 31(3): 103-118.
- Barrio M, F Castedo, J Majada, A Hevia 2009. Manual básico de la poda y formación de los árboles forestales. Madrid, España. Editorial Mundi-Prensa. 255 p. ISBN: 978-84-8476-286-7.
- Chauchard L, M. Olalde 2005. Modelo de poda para pino radiata. Nota Técnica, inédito. Vitoria, España. IKT SA. 40 p.
- Davel M. 1998. Identificación y caracterización de zonas de crecimiento para pino oregón en la Patagonia Andina Argentina. Tesis Magister en Ciencias Mención Manejo Sustentable de Recursos Forestales. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. 119 p.
- Davel M. 2008. Establecimiento y manejo del pino oregón en Patagonia. Esquel, Argentina. CIEFAP. 148 p. (Manual N°9).
- Davel M, E Sepúlveda. 2000. Poda en plantaciones de pino oregón. Ficha técnica. *Patagonia Forestal*. VI(1): 7-10.
- Davel M, A Ortega. 2003. "Productividad por zonas de crecimiento para pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) en la Patagonia Andina Argentina". *Investigación*

- Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12(3): 33-45.
- Fassola H, F Rodríguez, D Allegranza, A Hernández, P Ferrere, M Durán, H Reboratti. 1999. Resultados iniciales de tratamientos silvícolas directos en *Pinus taeda* origen Marion, en el NE de Corrientes. Misiones, Argentina. INTA EEA Montecarlo. 9 p. (Informe Técnico N° 22).
- Hubert M, R. Courraud. 1989. Poda y formación de los árboles forestales. Madrid, España. Mundi-Prensa. 300 p.
- Knowles RL, GG West, AR Koehler. 1987. Predicting “diameter over stubs” in pruned stands of Radiata pine. Rotorua, New Zealand. Ministry of Forestry, Forest Research Institute. 24 p. (Bulletin N° 12).
- Kurtz VD, R Ferruchi. 2000. La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad. Informe Técnico. Misiones, Argentina. INTA EEA Montecarlo. 21 p.
- Meneses VM, RJ Velazco. 1992. Comportamiento del diámetro del cilindro con defectos en parcelas sometidas a diversos tratamientos de poda y raleo. In *Pinus radiata*, investigación en Chile. Silvicultura, Manejo y Tecnología. Valdivia, Chile. UACH. p. 109-123.
- Rivera HJ, MG Sobarzo. 1992. Efecto de raleo y poda extrema en plantaciones de pino radiata. In *Pinus radiata*, investigación en Chile. Silvicultura, Manejo y Tecnología. Valdivia, Chile. UACH. p. 124 -134.
- Sutton WR, JB Crowe. 1975. Selective pruning of Radiata pine. *New Zealand Journal Forestry Science* 5(2): 171-195.
- Todoroki CL. 2003. Importance of maintaining defect cores. *New Zealand Journal of Forestry Science* 33(1): 25-34.

Recibido: 02.08.11

Aceptado: 21.06.13

