

Efecto de la fertilización a la pradera sobre la delimitación y características del período juvenil de *Pinus radiata* D. Don

R. Moya Roque^{1*}, L. Valenzuela H.² y F. Salazar R.²

¹ Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Apdo. 159. 7050 Cartago. Costa Rica

² Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Casilla, 154-C. Concepción. Chile

Resumen

El presente estudio muestra los resultados del efecto de la fertilización de la pradera en la delimitación de la madera juvenil, así como el efecto sobre la densidad básica, el porcentaje de leño tardío y el ancho de anillo durante ese período de crecimiento. Los resultados son concluyentes para muestras cortadas a la altura del pecho. Se utilizaron dos ensayos silvipastorales, uno correspondiente a una pradera fertilizada y otro a una pradera sin fertilizar. Además, en cada tipo de pradera se consideraron los diferentes estratos arbóreos: dominantes, intermedios y suprimidos. Se demuestra, en primer lugar, que el límite de producción de madera juvenil en *Pinus radiata* cuando crece en silvipastoreo se encuentra en un rango de edad de 7 a 11 años. En segundo lugar, la fertilización de la pradera no produce un cambio significativo en la duración de la producción de madera juvenil. En tercer lugar, la fertilización de la pradera tiende a producir madera de menor densidad básica, menor porcentaje de leño tardío y un ancho de anillo de crecimiento mayor. Además, otro resultado importante indica que la finalización del período juvenil se da cuando el incremento corriente anual en altura y en diámetro alcanza su máximo.

Palabras clave: madera juvenil, *Pinus radiata*, fertilización, manejo silvipastoral.

Abstract

Pastures fertilization effect on the delimitation and characteristics of *Pinus radiata* D. Don juvenile wood

This study presents the effects of prairie fertilization on the juvenile wood delimitation, on wood basic density, late wood percentage and on ring wide for *Pinus radiata* in Chile. Wood samples were taken at diameter at breast height (DBH). Two silvipastoral trails were evaluated, one corresponding to a fertilized prairie and the other to a non-fertilized prairie. In addition, tree height dominance was considered on each prairie (dominants, intermediate, and suppressed). Results showed at first, that production of juvenile wood in *Pinus radiata* growing on silvipastoral cultivation ceases between the 7th and the 11th year of age. At second, it was found that prairie fertilization had no significant effects on juvenile wood formation. At third, prairie fertilization tended to produce wood of low basic density and low percentages of late wood, but greater ring width. Finally, the end of the juvenile period occurred when the current annual increment in tree height and DBH reached the maximum.

Key words: basic density, *Pinus radiata*, fertilization, silvipastoral management.

Introducción

En Chile, durante la década de los 90, la tasa de reforestación alcanzó cifras superiores a las 100.000 ha año⁻¹. En la actualidad tiene un área superior a los dos millones de hectáreas (INFOR, 2000). La necesidad de contar con áreas susceptibles para la reforestación hace indispensable la utilización de sitios que anteriormente no eran considerados óptimos para el establecimiento de cultivos forestales debido a su baja

fertilidad. Una de las soluciones implementadas en este sentido está orientada al manejo intensivo de las plantaciones, utilizando baja densidad de plantación y aplicaciones frecuentes de podas, raleos y fertilización.

Por otra parte, el uso múltiple del suelo está siendo utilizado como una nueva forma para incorporar sitios de baja fertilidad al desarrollo forestal y ganadero de Chile. Esta actividad comprende dos partes: por un lado la producción de árboles, y por otro, el manejo de ganado; ambos conocidos genéricamente como cultivos silvipastorales. Las actividades aplicadas a los árboles son de mayor intensidad que las

* Autor para la correspondencia: rmoya@itcr.ac.cr

Recibido: 05-09-01; Aceptado: 20-11-02.

aplicadas a una plantación comercial con fines de producción de madera aserrada, ya que constantemente se debe regular la densidad y la cobertura del estrato arbóreo para mantener un equilibrio óptimo entre la producción del forraje y la producción forestal (Arriagada, 1998).

Las investigaciones realizadas con este tipo de cultivo silvopastoral han mostrado que no sólo el volumen de madera varía con el esquema de manejo aplicado (Cancino *et al.*, 1999), sino también las propiedades de la madera (Moya *et al.*, 2002).

La fertilización es una de las actividades silvícolas utilizada para mejorar la productividad. Se ha reportado que afecta a propiedades de la madera tales como su densidad, porcentaje de leño temprano, inclinación de la fibra y dimensiones de las células, entre otras (Shimoyama y Barrichelo, 1994; Zobel y Van Buijtenen, 1989).

En el caso de *Pinus radiata* se ha determinado que la fertilización afecta a las propiedades de la madera; por ejemplo, la densidad básica (Bamber y Burley, 1983; Cromer *et al.*, 1977; McKinnell y Rudman, 1973; Nelson *et al.*, 1980; Nicholls, 1971) y el porcentaje de leño tardío (Bamber y Burley, 1983; McKinnell, 1970; McKinnell y Rudman, 1973).

La madera juvenil de las coníferas se caracteriza por poseer baja densidad, células más cortas, bajo porcentaje de leño tardío, células con menor espesor de pared y baja resistencia mecánica, entre otras características consideradas como indeseables para la mayoría de los usos. Este tipo de madera se forma durante los primeros años de desarrollo de los árboles, y su período de formación comprende varios años, según la especie y las condiciones de crecimiento (Yanz *et al.*, 1994).

Este tipo de madera se forma por la influencia del meristemo apical sobre el cambium y se extiende a toda la altura del árbol (Zobel y Sprague, 1998). Existe la hipótesis de que este período finaliza cuando el incremento anual en altura y en diámetro de los árboles es el máximo (Kuçera, 1994).

Para determinar el final del período juvenil, se utilizan diferentes parámetros, tales como la densidad de la madera, el porcentaje de leño tardío, el ancho de anillos, la inclinación de la fibra y las propiedades mecánicas (Yanz *et al.*, 1994). Los resultados obtenidos en la determinación del período juvenil con estas propiedades son diferentes entre sí, debido a que la relación entre las características de la madera se comportan casi de manera independiente unas de las otras (Yanz *et al.*, 1986; Cown, 1992).

En *P. radiata*, Cown (1992) discutió ampliamente las características y la duración del período juvenil, el cual fue determinado en 10 años de edad. Las principales características que estableció para este tipo de madera fueron: menor densidad, menor porcentaje de leño tardío, fibras más cortas, mayor ancho de anillo y células con paredes delgadas, entre otras.

En investigaciones realizadas en Chile con *P. radiata*, no fue posible determinar la duración del período de formación de madera juvenil utilizando el largo de la fibra; pero al analizarse con la densidad básica, se encontró que la madera juvenil finaliza entre el octavo y el noveno año. La densidad presenta una forma creciente desde el primer año hasta la edad indicada anteriormente; luego se mantiene casi constante en árboles de 25 años (Valenzuela y Nakayama, 1991). Utilizando diferentes características de la madera, Zobel y Sprague (1998) presentaron edades de finalización de la madera juvenil para *P. radiata*, las cuales se encontraban en un rango de 5 a 20 años.

En la delimitación de la producción de madera juvenil para *P. radiata* se destacan los siguientes cuatro aspectos fundamentales:

1. La determinación del período juvenil de la especie se basa en la observación gráfica del cambio que se produce en alguna característica de la madera, y se establece el límite de la madera juvenil, el año donde ocurre un cambio en la tendencia del parámetro.

2. Una de las teorías más aceptada en la delimitación de la madera juvenil está basada en el uso de segmentos de regresión lineal (Zobel y Sprague, 1998), análisis que no se ha realizado en *P. radiata*.

3. Las investigaciones de los efectos de la fertilización en pradera en *P. radiata* hasta el momento no han considerado el cambio que se produce en el período de producción de madera juvenil.

4. En otras especies se ha establecido que la duración del período juvenil finaliza cuando el incremento corriente anual en altura y en diámetro es el máximo (Kuçera, 1994).

Dado el hecho de que el método de determinación del período juvenil con regresiones es considerado como una de las formas más eficientes, y que para *P. radiata* no se han estudiado los efectos de la fertilización sobre la madera juvenil y la duración de este período, se decidió (i) determinar el año en que finaliza el período juvenil, (ii) verificar la hipótesis según la cual el período juvenil finaliza cuando el incremento medio anual (ICA) en altura y en diámetro es el máximo, y (iii) determinar el efecto de la fertilización so-

bre la duración de la madera juvenil y las características de la misma.

Materiales y métodos

Localización, materia prima y características de los tratamientos

Para determinar de la duración del período juvenil de *P. radiata*, se utilizaron dos condiciones de ensayos silvopastorales, los cuales se ubican en la VI Región de Chile. En uno se aplicó fertilizante a la pradera al iniciar la primavera en edades de 3, 6 y 11 años, con superfosfato triple (122 kg/ha) y urea (76 kg/ha) como fuentes de fósforo y nitrógeno, respectivamente; mientras que en el otro ensayo no se aplicó fertilizante en la pradera.

Los árboles fueron plantados en una densidad de 625 individuos por hectárea, con arreglos de cuatro plantas por conglomerado. La distancia entre árbol y árbol fue de 2×2 m, y de 6×6 m entre conglomerado. Con respecto a los esquemas de manejo, a ambos ensayos se les aplicó la misma intensidad de podas y raleos (Tabla 1). Más detalles de los tratamientos son presentados por Cancino *et al.* (1999) y Moya *et al.* (2002).

El diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total fueron medidos desde el tercer año en adelante para cada uno de los ensayos (Tabla 2).

Selección de los árboles, obtención de las muestras y mediciones

En cada ensayo se establecieron tres clases sociales: dominante, intermedio y suprimido. Para cada

una de estas clases fueron seleccionados aleatoriamente 3 árboles, teniendo como resultado 9 árboles por ensayo. De los árboles seleccionados se obtuvo un disco de aprox. 3 cm de espesor a la altura del pecho; y de aquellos se extrajo una sección en dirección norte-sur. En Moya *et al.* (2002) se presenta el detalle de la selección de los árboles y la obtención de la sección.

En cada una de las secciones, una lámina de aproximadamente 2 mm de espesor fue cortada sobre la cara transversal, en la cual se trazó una línea en dirección norte-sur, pasando por la médula. Posteriormente, con la ayuda de un calibrador «vernier» (pie de rey) se midió el ancho del anillo de crecimiento y el ancho de la madera de leño tardío para cada uno de los años presentes en la sección transversal. El porcentaje del leño tardío fue determinado por la razón que existe entre el ancho del leño tardío y el ancho total del anillo, expresado en porcentaje.

La densidad básica de cada anillo de crecimiento, correspondiente a cada año, se determinó con el volumen verde y su peso seco, utilizando el procedimiento descrito por Moya *et al.* (2002).

Delimitación del período juvenil

El método utilizado en la determinación del límite entre la madera juvenil y la madera madura es similar a los utilizados por Yanz *et al.* (1994) y Shepard y Shottafer (1992). Este método consiste en utilizar segmentos de regresiones en los dos tipos de madera que se producen en el árbol. La intersección de las dos rectas corresponde al año donde inició la producción de la madera madura, o bien, a la finalización de la madera juvenil.

Tabla 1. Esquema de aplicación de podas y raleos

Tipo de ensayo	Orden de aplicación	Edad de los árboles (años)	Densidad de plantación	
			Antes del raleo (n/ha)	Después del raleo (n/ha)
Pradera fertilizada	Primera	6,5	549	324
	Segunda	7,5	324	214
	Tercera	10,5	214	172
Pradera sin fertilizar	Primera	6,5	523	360
	Segunda	7,5	358	229
	Tercera	10,5	229	180

Fuente: Arriagada, 1998.

Tabla 2. Variables morfológicas para árboles de *Pinus radiata* en la pradera fertilizada (PF) y la pradera sin fertilizar (SF)

Edad (años)	Diámetro al DAP (cm)		Altura total (m)		Altura de inicio copa viva (m)	
	PF	SF	PF	SF	PF	SF
3			1,50	1,48		
4			2,90	2,58		
5	7,99	7,39	4,99	4,36		
6	10,88	9,94	5,99	5,58	2,72	2,35
7	14,29	13,08	6,95	6,26	4,20	3,78
8	18,12	16,30	9,39	8,58	4,20	3,78
9	22,19	20,76	12,01	11,46	4,20	3,78
10	25,43	24,02	13,93	13,70*	6,13	7,05
11	27,80	26,13	15,68	15,22	6,13	7,05
12	31,24	28,84	17,58	17,26	6,20	7,00
13	33,76	31,31	19,77	19,26	6,33	7,11
14	35,57	33,45	20,82	20,50	6,13	7,15
15	37,14	34,95	21,78	21,75	**	**
16	38,34	36,19	22,89	23,02	6,43	7,15

* Medición realizada después de la poda y el raleo aplicado en el año 10,5. ** No hay registros. DAP: diámetro a la altura del pecho.

Se consideraron las siguientes características de la madera: densidad básica, porcentaje de leño tardío y ancho del anillo en las diferentes edades del árbol. Los valores de estas características fueron graficados con respecto a la edad del árbol, a fin de determinar su comportamiento.

Por medio de estos gráficos, se determinó la edad de inflexión en la tendencia de la recta (Shepard y Shottafer, 1992): generalmente entre el octavo y el undécimo año. Se definió así en ese punto la edad en la cual finaliza la producción de madera juvenil en *P. radiata*. Posteriormente, a cada lado de este punto, se ajustaron regresiones lineales por mínimos cuadrados entre los parámetros y la edad del árbol:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * \text{edad} + \epsilon_i$$

donde:

Y_i: Propiedad de la madera (densidad básica, porcentaje de leño tardío y ancho de anillo)

β₀: Parámetro intersección de la regresión

β₁: Parámetro de pendiente de la regresión

ε_i: Error de la regresión

En el caso de la densidad y el porcentaje de leño tardío, primero se ajustó el segmento de la regresión correspondiente al período juvenil, y la pendiente de la recta fue ajustada a un valor estadísticamente (p<0,05) igual a cero. Cuando se utilizó el ancho de anillo se ajustó primeramente el período de madera madura donde nuevamente la pendiente de la recta

tenía que poseer un valor significativamente igual a cero.

Una vez realizado este primer ajuste se procedió al ajuste de los valores asignados a la madera madura; para lo cual se consideró el resto de los datos que no fueron introducidos en la primera regresión ajustada (Fig. 1).

El límite entre la producción de la madera juvenil y la de la madera madura corresponde a la intersección del ajuste realizado para estos dos tipos de madera.

Las regresiones se realizaron para los dos tipos de praderas, fertilizada y sin fertilizar, y en cada una de ellas se dieron los ajustes para la totalidad del rodal, denominándose como población total, y posteriormente se establecieron los ajustes para las diferentes clases sociales presentes en los rodales.

Resultados

El período de formación de la madera juvenil se encontró en un rango de variación entre 7 y 11 años dependiendo del parámetro con que se determinó (Tabla 3). La madera juvenil finaliza en el año 10 u 11 cuando se calcula con el ancho de anillo de crecimiento. Con la densidad básica finaliza entre 8 y 9 años, en tanto que al utilizar el porcentaje de leño tardío presentó un rango entre 7 y 9 años.

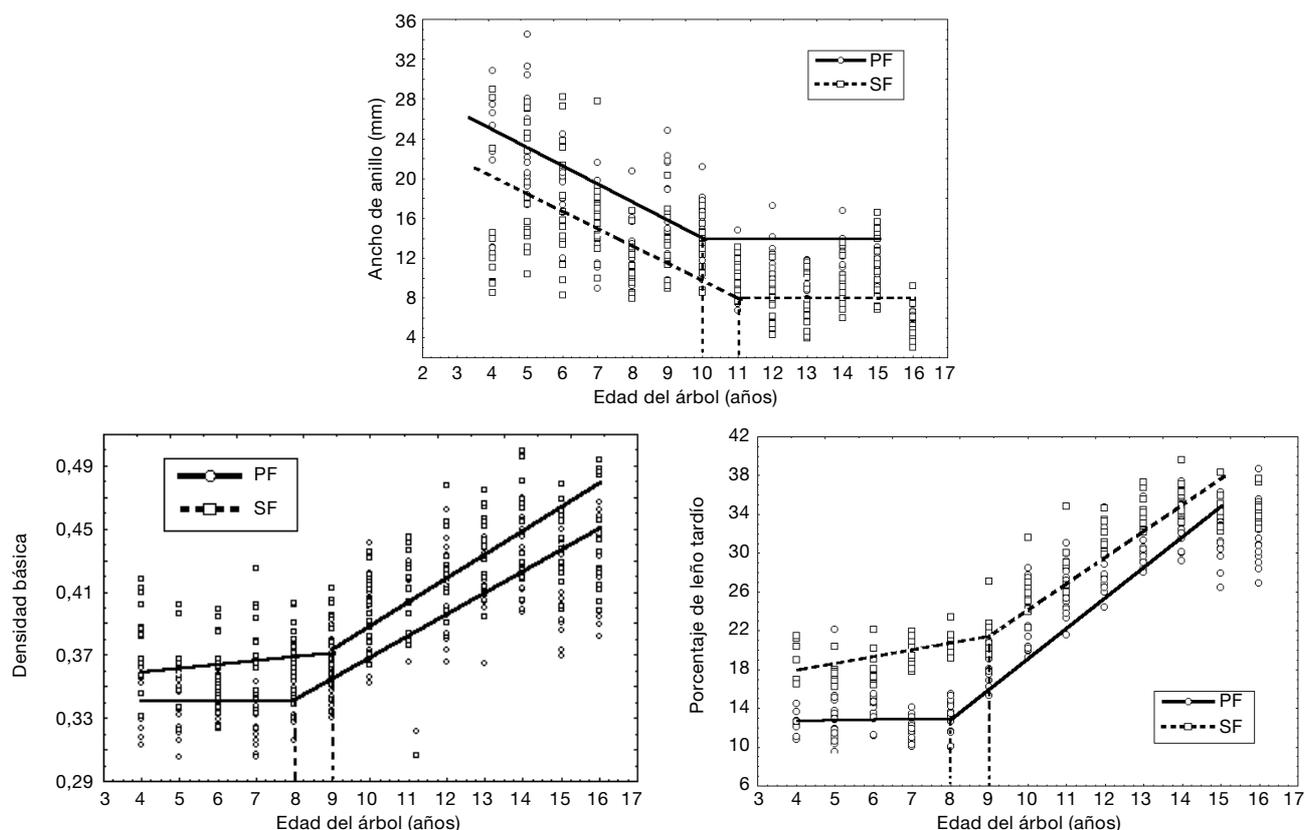


Figura 1. Representación gráfica de la determinación del período juvenil en *Pinus radiata* en la totalidad de la población y los diferentes tipos de praderas. PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

La delimitación entre la madera juvenil y la adulta, cuando se utiliza el ancho de anillo de crecimiento, presentó resultados superiores en uno o dos años a los obtenidos para la densidad básica y el porcentaje de leño tardío. Mientras que en estos dos últimos parámetros, los resultados no son congruentes entre ellos si se consideran las diferentes clases sociales. La den-

sidad básica da como resultado años de producción de madera juvenil superior al del leño tardío, con excepción de los árboles dominantes en la pradera sin fertilizar (Tabla 3). Sin embargo, es importante recalcar que cuando se considera la población total, los resultados son muy similares entre la densidad y el porcentaje de leño tardío.

Tabla 3. Resumen de edad de producción de madera juvenil en *Pinus radiata* en dos tipos de praderas

Característica de la madera	Tipo de pradera	Delimitación de madera juvenil en árbol			
		Suprimido (años)	Intermedio (años)	Dominante (años)	Población total (años)
Ancho de anillo de crecimiento	PF	11	10	11	10
	SF	10	10	11	11
Densidad básica	PF	9	9	9	8
	SF	9	9	8	9
Porcentaje de leño tardío	PF	8	8	8	8
	SF	8	7	9	9

PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

Tabla 4. Parámetros estadísticos de las regresiones planteadas

Parámetro	Clases sociales	Tratamiento	Período juvenil		Madera madura	
			Regresión	R ²	Regresión	R ²
Anillo de crecimiento	SUP	PF	29,78 - 1,89 * edad	0,487	13,23 - 0,21 * edad	0,022
		SF	18,68 - 0,90 * edad	0,247	6,08 + 0,053 * edad	0,002
	INT	PF	25,63 - 1,24 * edad	0,178	16,59 - 0,40 * edad	0,090
		SF	15,36 - 0,01 * edad	0,201	13,57 - 0,20 * edad	0,014
	DOM	PF	25,97 - 0,98 * edad	0,213	13,86 - 0,08 * edad	0,002
		SF	30,84 - 1,83 * edad	0,504	7,47 + 0,19 * edad	0,013
	General	PF	27,16 - 1,37 * edad	0,213	14,36 - 0,23 * edad	0,079
		SF	21,93 - 1,00 * edad	0,519	5,39 + 0,28 * edad	0,102
Densidad de la madera	SUP	PF	0,34 + 0,003 * edad	0,176	0,32 + 0,008 * edad	0,546
		SF	0,39 + 0,006 * edad	0,313	0,32 + 0,010 * edad	0,742
	INT	PF	0,32 + 0,0023 * edad	0,015	0,29 + 0,009 * edad	0,513
		SF	0,36 - 0,004 * edad	0,064	0,31 + 0,009 * edad	0,692
	DOM	PF	0,32 + 0,004 * edad	0,120	0,29 + 0,009 * edad	0,676
		SF	0,33 + 0,002 * edad	0,210	0,28 + 0,009 * edad	0,546
	General	PF	0,34 + 0,003 * edad	0,104	0,29 + 0,011 * edad	0,506
		SF	0,36 + 0,008 * edad	0,141	0,31 + 0,009 * edad	0,620
Porcentaje de leño tardío	SUP	PF	17,11 - 0,49 * edad	0,023	-4,22 + 2,7 * edad	0,706
		SF	17,53 + 0,53 * edad	0,049	6,26 + 2,08 * edad	0,883
	INT	PF	12,01 + 0,15 * edad	0,058	-8,34 + 2,94 * edad	0,764
		SF	12,41 + 0,95 * edad	0,039	0,33 + 2,58 * edad	0,829
	DOM	PF	11,74 + 0,08 * edad	0,074	-2,08 + 2,28 * edad	0,901
		SF	12,00 + 2,18 * edad	0,432	3,41 + 2,18 * edad	0,858
	General	PF	12,62 + 0,06 * edad	0,238	-4,90 + 2,70 * edad	0,696
		SF	14,31 + 0,80 * edad	0,324	3,10 + 2,30 * edad	0,797

SUP: suprimido. INT: intermedio. DOM: dominante. PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

La representación gráfica de la determinación de los años donde finaliza la formación de la madera juvenil se presenta en la Fig. 1, para la totalidad de la población y en la Fig. 2 para las diferentes clases sociales.

Discusión

Un aspecto relevante en los resultados presentados anteriormente es el hecho de que se presentan periodos de formación de madera juvenil muy similares al considerar una misma característica de la madera. Las diferencias encontradas fueron solamente de 1 año en la mayoría de los casos, no sólo entre las diferentes clases sociales, sino también entre los dos tipos de praderas. La única excepción fue una diferencia de 2 años entre los árboles intermedios y dominantes en la pradera sin fertilizar cuando se utilizó el porcentaje leño tardío (Tabla 3).

Una posible explicación de tener edades de producción de madera juvenil muy similares entre los árboles dominantes, intermedios y suprimidos utilizando un mismo parámetro está dada por el hecho de que durante el período de transición entre la madera juvenil y la adulta influye fuertemente por la competencia de luz entre los árboles, lo cual puede ser inducido en muchos casos por la aplicación de podas tempranas (Lindström, 1994). Así también la genética de la especie puede estar influyendo sobre el periodo de formación de madera juvenil (Zobel y Sprague, 1998).

En el caso particular de los ensayos utilizados en la investigación, las podas fueron aplicadas con una misma intensidad y altura para todos los árboles y en los dos rodales (fertilizado y no fertilizado), lo que permitió, probablemente, la poca variación en el período de formación de madera juvenil tanto entre las diferentes clases sociales como entre los dos tipos de praderas. De hecho, al determinar la longitud de la copa por medio de

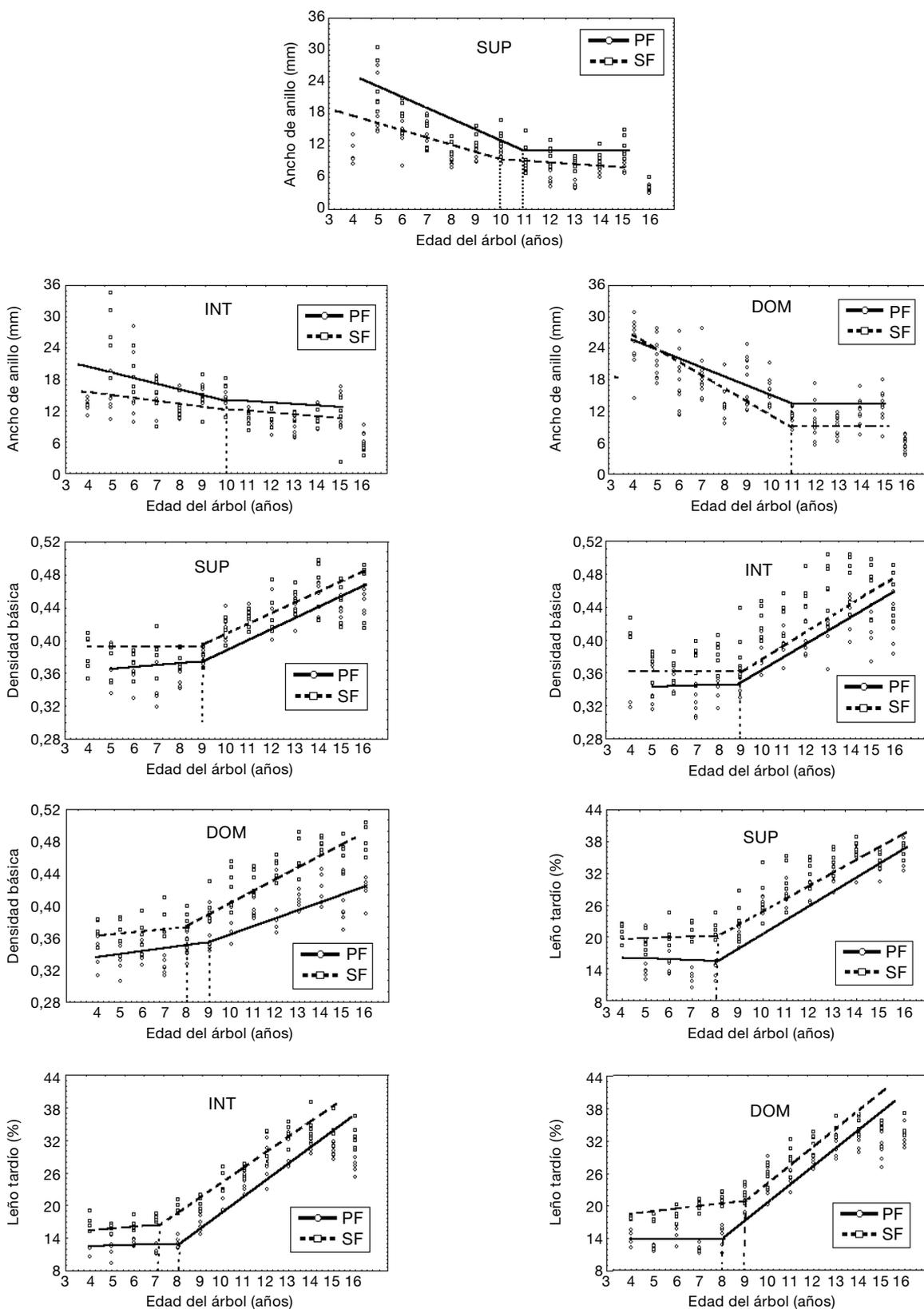


Figura 2. Determinación del periodo juvenil de *Pinus radiata* para diferentes clases sociales en diferentes tipos de praderas. SUP: suprimido. INT: intermedio. DOM: dominante. PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

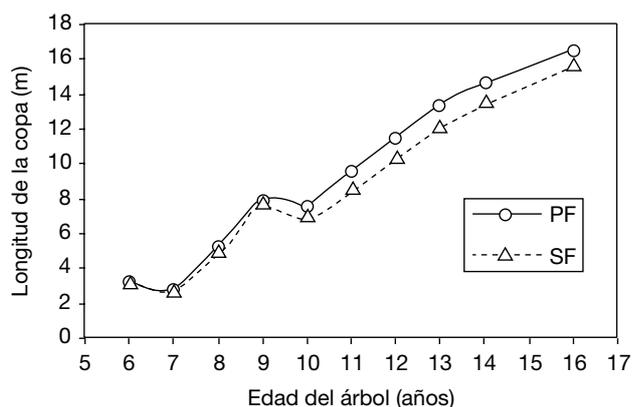


Figura 3. Longitud promedio de la copa para los dos tipos de praderas. PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

los datos de la Tabla 2 se tiene un comportamiento similar en todas las edades donde se realizaron las mediciones de las parcelas permanentes de los rodales (Fig. 3).

Ancho de anillo de crecimiento

El ancho de anillo de crecimiento durante el período juvenil en la pradera fertilizada es mayor estadísticamente ($P < 0,05$) que el de los árboles que se desarrollan en la pradera sin fertilizar; tanto en la población total como en las diferentes clases sociales (Figs. 1 y 2). Este comportamiento era de esperarse en razón de que la fertilización aumenta la capacidad fotosintética de los árboles debido al aumento que se produce en el tamaño de la copa (Cown y McConchie, 1981).

Al determinar la diferencia entre el periodo de formación de madera juvenil de la pradera fertilizada y el de la pradera sin fertilizar, se presentaron diferencias de 1 año en los árboles suprimidos y la población total.

La delimitación de la madera juvenil está relacionada con la competencia por la luz, la que a su vez es influenciada, en los rodales estudiados, por la aplicación de podas tempranas. En los ensayos estudiados, esta actividad fue realizada con una misma intensidad y una misma altura para los dos tratamientos, lo que probablemente influyó en la poca o nula diferencia en los años de producción de madera juvenil y el ancho del anillo de crecimiento.

Densidad básica

La edad donde finaliza la madera juvenil para los árboles de *P. radiata* en condiciones de silvopas-

toreo (Tabla 3) se encuentra dentro del rango establecido por Entrican y Uprichard (mencionado por Zobel y Sprague, 1998), quienes establecen un rango de 9 a 15 años para la misma especie y utilizando la densidad de la madera para predecir su presencia.

En cuanto al comportamiento de la densidad básica, se observó que durante el período juvenil la edad del árbol no presentó correlación ($P > 0,05$) con la densidad básica de la madera (Figs. 1 y 2). Sin embargo después de finalizado este periodo se empieza a dar una relación lineal entre la densidad básica y la edad del cambium.

No obstante en otras investigaciones en donde la madera juvenil fue analizada, se encontró un comportamiento diferente al del presente estudio. Valenzuela y Nakayama (1991) establecieron que la densidad básica tiene una forma creciente desde el primero hasta el noveno año en árboles que crecen en plantaciones puras con árboles de 25 años de edad, mientras que Cown y McConchie (1981) encontraron esta misma tendencia, solo que con árboles de 45 años.

En otras especies en las cuales se ha determinado el periodo de formación de la madera juvenil, por ejemplo *Picea rubens* (Wallcott *et al.*, 1987; Tasissa y Burkhardt, 1998) y *Pinus taeda* (Shepard y Shottaffer, 1992) se ha encontrado que ésta tiene una forma creciente desde el primer año hasta que empieza la producción de la madera madura. Para ello se utilizó la densidad básica y el método de segmentos de regresión a fin de calcular dicho periodo. Los resultados en esas especies difieren de lo encontrado en el presente estudio con árboles de *Pinus radiata* en condiciones de silvopastoreo, en razón no presentar una forma creciente.

La diferencia encontrada en las investigaciones sobre el comportamiento de la densidad entre este estudio y otros obedece a una de las características del silvopastoreo: la aplicación de un manejo intensivo durante los primeros años (Arriagada, 1998). Los árboles estudiados durante los primeros 11 años fueron objeto de tres podas y tres raleos; aparte de la utilización de altos espaciamientos iniciales, lo que permitió un incremento constante en la tasa de crecimiento y pocas variaciones en la densidad.

Otro aspecto significativo a destacar en relación con los resultados de la densidad básica consiste en que los árboles de la pradera fertilizada presentaron una tendencia a producir madera de menor densidad básica que aquellos de la pradera sin fertilizar (Figs. 1 y 2).

Este comportamiento fue similar al de los reportados para especies tales como *Pinus taeda*, *Eucalyptus* sp. y *Pinus ribosa* (Zobel y Sprague, 1998) en donde se reportó una disminución de la densidad debido a la fertilización de los árboles.

En torno a la delimitación de la madera juvenil, solamente ocurrieron cambios en los árboles dominantes y en la población total (Tabla 3). La influencia de la fertilización sobre la duración de madera juvenil no es tan severa como para producir diferencias superiores a 2 o más años. Nuevamente, al igual que con el ancho de anillo de crecimiento, es probable que este periodo se encuentre más relacionado con la aplicación de las podas y no con la aplicación del fertilizante.

Porcentaje de leño tardío

Cuando se utiliza el porcentaje de leño tardío, se presenta un comportamiento similar al de la densidad básica: durante el periodo juvenil esta característica de la madera no se ve influenciada por la edad del árbol, en tanto que la fertilización de la pradera tiende a producir madera con menor porcentaje de leño tardío para las diferentes clases sociales y la población total (Figs. 1 y 2). Esta disminución del leño tardío puede deberse a un aumento de la capacidad fotosintética del árbol (Shimoyama y Barrichelo, 1994), lo que da como resultado mayor producción de leño temprano y consecuentemente menor porcentaje de leño tardío.

Es evidente que existe una estrecha relación entre el porcentaje de leño tardío y la densidad básica de la madera. De hecho, cuando se estableció el grado de asociación entre estas características se encontró un coeficiente de correlación de 0,90 en la pradera fertilizada y de 0,85 en la pradera sin fertilizar; de ahí, la gran si-

militud entre las edades de finalización de la madera juvenil y el comportamiento con la edad del cambium.

El efecto que produce la fertilización de la pradera en la duración del periodo, determinado por el porcentaje de leño tardío, no es mayor a 1 año para los diferentes tipos de árboles y la población total (Tabla 3). En los árboles intermedios la fertilización aumentó 1 año la producción de madera juvenil; mientras que en los árboles dominantes y la población total la fertilización disminuyó en 1 año. Por otra parte, los árboles suprimidos no se vieron afectados por la fertilización. Igualmente, en el análisis realizado con el ancho de anillo de crecimiento y con la densidad básica, todo parece indicar que además de la fertilización de la pradera en las condiciones de los ensayos estudiados, existe el efecto de otra variable que no se ha considerado en este estudio. Se ha planteado que el efecto producido por la aplicación de podas en el árbol influye en el desarrollo de la copa, limitando así capacidad fotosintética y consecuentemente la producción de madera juvenil.

El periodo de madera juvenil y el incremento corriente anual

La finalización del periodo juvenil en los árboles que crecen en pradera se encuentra altamente relacionada con el incremento corriente anual (ICA) de altura y de diámetro. Esta misma relación fue establecida para la especie *Picea abies* (Kuçera, 1994), en la cual se estableció que el periodo de madera juvenil coincide cuando el ICA en altura y en diámetro llega a su máximo desarrollo.

Los incrementos corrientes anuales presentan su máximo valor a la edad de 9 años para ambos tipos de praderas (Fig. 4), muy similares a los valores presen-

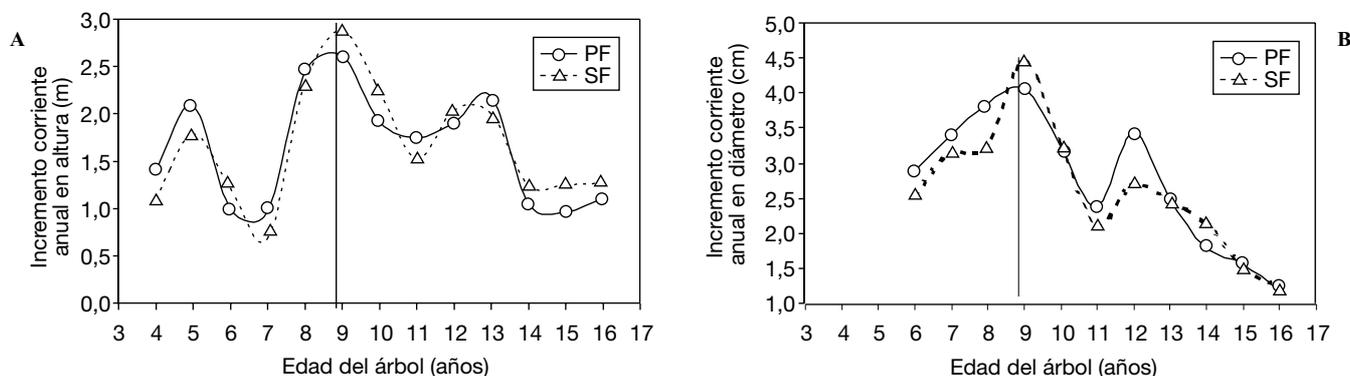


Figura 4. Incremento corriente anual en altura (A) y en diámetro (B) de *Pinus radiata* creciendo en dos tipos de pradera. PF: pradera fertilizada. SF: pradera sin fertilizar.

tados en la Tabla 3 para la densidad básica y el porcentaje de leño tardío. Al igual que en el picea noruego (Kuçera, 1994), en *Pinus radiata* la duración del período juvenil finaliza cuando el ICA es el máximo en altura y en diámetro.

Sin embargo, el período de producción de madera juvenil determinado por el ancho de anillo de crecimiento no coincide con el ICA en altura y en diámetro. Los años establecidos con este parámetro de la madera es de 10 u 11 años, mientras que el ICA máximo en altura y diámetro es de 9 años para ambas praderas.

El período de formación de madera juvenil tiene diferentes años de duración, según el parámetro con que se determine, o de la clase social del árbol en el rodal. Sin embargo un aspecto es claro, la fertilización de la pradera tiende a producir un mayor ancho de anillo de crecimiento, una menor densidad básica y un menor porcentaje de leño tardío.

Tasissa y Burkhart (1998) discutieron ampliamente el tema de la delimitación de este periodo en algunas especies: la conclusión general indica que las propiedades mecánicas de la madera son una de las formas más exactas para determinar este período, seguido de la densidad de la madera. Ello implica que sería de gran utilidad realizar las investigaciones de la delimitación de la madera juvenil en relación con las propiedades de la madera.

Además de los resultados obtenidos en esta investigación se debe tener presente que el planteamiento de estos objetivos se basa en que la fertilización no fue aplicada directamente a los árboles, sino que fue realizada a la pradera, por lo que los resultados obtenidos no necesariamente son válidos cuando la fertilización es aplicada directamente en los árboles.

Conclusiones

El período de producción de madera juvenil para *Pinus radiata* creciendo en praderas se encuentra en un rango entre 7 y 11 años, dependiendo del parámetro con que se determine y del estrato del rodal en donde se obtenga la muestra.

El efecto de la fertilización de la pradera tiende a producir madera con mayor ancho de anillo de crecimiento, menor porcentaje de leño tardío y menor densidad básica en las diferentes clases sociales y en la población total de un rodal de *P. radiata* de 16 años de edad.

La fertilización de la pradera no influye en la duración del período en que el árbol forma la madera juvenil, debido posiblemente a que la aplicación de podas muy tempranas y frecuentes influyen fuertemente en este tipo de madera. Sin embargo estos resultados pueden ser totalmente distintos, según sean las condiciones de las plantaciones, por ejemplo, plantaciones puras.

El período de formación de la madera juvenil en la especie *P. radiata* finaliza cuando el incremento corriente anual en altura y en diámetro es el máximo.

Agradecimientos

Los autores agradecen la gran colaboración brindada por el Ing. Cesar Cabrera, responsable del manejo del predio Tanumé y a todo el personal del Centro Experimental Tanumé, quienes de manera desinteresada prestaron su colaboración para el desarrollo de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- ARRIAGADA J., 1998. Ensayos de sistemas silvopastorales Centro Experimental Tanume. Documento de trabajo No 3. Corporación Nacional Forestal, VI Región Chile.
- BAMBER R.K., BURLEY J., 1983. The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux, 84 pp.
- CANCINO J., ESPINOSA M., VARAS A., 1999. Projection of height and diameter and estimation of future volume yield in silvopastoral trial. For. Ecol. Manage 123 (2-3), 275-285.
- COWN D.J., 1992. Corewood (juvenile wood) in *Pinus radiata* - Should we be concerned? N. Z. J. For. Sci. 22 (1), 87-95.
- COWN D.J., MCCONCHIE D.L., 1981. Effects of thinning and fertilizer application on wood properties of *Pinus radiata*. N. Z. J. For. Sci. 11 (2), 79-91.
- CROMER R., DARGAVEL J., HERDERSON V., NELSON P., 1977. More pulpwood from less land. Appita J. 31 (1), 49-53.
- INFOR, 2000. Catastro y evaluación de los recursos vegetales nativos de Chile. Santiago de Chile. 13 pp.
- KUÇERA A., 1994. A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in norway spruce. Wood Fiber Sci. 28 (4), 391-16.
- LINDSTRÖM H., 1994. Basic density in norway spruce. Part II: Predicted by taper, mean growth ring width and factors related to cown development. Wood Fiber Sci. 28 (2), 240-251.
- MCKINNELL F., 1970. Wood density studies in *Pinus radiata*. Aust. For. 18, 170-171.

- MCKINNELL F., RUDMAN P., 1973. Potassium fertilizer and wood density of *Pinus radiata*. *Appita J.* 26 (4), 283-286.
- MOYA R., SALAZAR F., VALENZUELA L., 2002. Efecto de la fertilización de la pradera sobre la densidad básica de la madera de *Pinus radiata* D. Don. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 11 (1), 181-192.
- NELSON P., HALL M., HANSEN N., HERDERSON V., TURKEY N., 1980. The effect of silvicultural practices on kraft pulping properties of *Pinus radiata*. *Appita J.* 33 (5), 368-378.
- NICHOLLS J.W., 1971. The effect of environmental factors on wood characteristics. 1. The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silvae Genetica* 20, 26-32.
- SHEPARD R.K., SHOTTAFER J.E., 1992. Wood property-age relationships of natural and plantation-grown red pine. *Tech. Bull.* 149. Maine Agricultural Experiment Station. University of Maine, USA. 27 pp.
- SHIMOYAMA V.R., BARRICHELO L.E., 1994. Importancia de la fertilización en la calidad de la madera y la celulosa. *Informaciones Agronómicas* 33, 3-6.
- TASSISSA G., BURKHART H., 1998. Juvenile-mature wood marcation in loblolly pine trees. *Wood Fiber Sci.* 30 (2), 119-127.
- VALENZUELA L., NAKAYAMA Y., 1991. The bending work of radiata pine grown in Chile. *Mokazai Gakkaishi* 37 (5), 396-404.
- WALLCOTT M.P., SHEPARD R.K., SHOTTAFER, J.E., 1987. Age and thinning effects on wood properties of red spruce (*Picea rubens*). *Tech. Bull.* 127. Maine Agricultural Experiment Station. University of Maine, USA. 27.
- YANZ K.C., BENSON C.A., WONG K., 1986. Distribution of juvenile wood stems of *Larix laricina* Can. *J. For. Res.* 16 (5), 1041-1049.
- YANZ K.C., CHEN Y.S., CHIU C., 1994. Formation and vertical distribution of juvenile and mature wood in a single stem of *cryptomeria japonica*. *Can. J. For. Res.* 24 (5), 969-975.
- ZOBEL B.J., SPRAGUE J.R., 1998. Juvenile wood in forest trees. *Spring-Verlag.* 299 pp.
- ZOBEL B., VAN BUIJTENEN B., 1989. Wood variation: its causes and control. *Spring-Verlag,* 363 pp.