

Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata

Effect of different thinning intensities on the growth of a radiata pine stand

C.D.O.: 228.1 1-242-56

MIGUEL ESPINOSA B., JAIME GARCIA S., OSVALDO VALERIA E.

Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Casilla 154-C, Concepción 3, Chile

SUMMARY

Different thinning treatments 400, 600, 800 and 1200 trees/ha as residual densities and a control (without thinning) were tested in 1985, in a six year-old radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) stand, located near Collipulli, IX Región. Thinning growth response after six years is analyzed.

The highest total volume per hectare was seen in the lightly thinned plots and in the control. The heavily thinned plots presented the lowest individual tree growth volume per hectare measured by dbh (diameter breast height) or stem volume. Response was greater as the residual density decreased.

Among the thinned plots, no significant differences in diameter growth were found for the 200 or 300 trees of largest diameter per hectare. Height growth was not affected by thinning.

RESUMEN

Este escrito analiza el desarrollo de un rodal de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) ubicado próximo a la localidad de Collipulli, IX Región, seis años después que fue sometido a diferentes tratamientos de raleo. Las densidades residuales consideradas fueron: 400, 600, 800 y 1.200 árboles por hectárea y un testigo (sin intervención). El raleo se efectuó en el año 1985, cuando la plantación tenía 6 años de edad.

Seis años después de aplicado el raleo, las parcelas moderadamente raleadas y el testigo tienen los mayores volúmenes totales; las parcelas más fuertemente raleadas, los menores. El tamaño individual del árbol, medido por su dap (diámetro altura pecho) o volumen del fuste, incrementó por efecto del raleo, siendo la respuesta mayor mientras menor es la densidad residual.

A la fecha del último control, el crecimiento en diámetro de los 200 o 300 árboles por hectárea de mayor dap no varía significativamente entre las parcelas raleadas. A diferencia del crecimiento en diámetro, el raleo no afecta el crecimiento en altura.

INTRODUCCION

A partir de la década de los 80 y como consecuencia de la masificación de las plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don) y la apertura hacia el comercio exterior de los productos derivados de su cosecha, se desarrollan e intensifican en el país las actividades silviculturales, especialmente aquellas que regulan el desarrollo de árboles y de rodales y que mejoran su calidad.

Ante la carencia de antecedentes respecto de los regímenes de manejo más apropiados para la especie en condiciones locales, se han utilizado

esquemas de manejo de origen foráneo, especialmente neozelandeses. En esencia, éstos propugnan raleos precomerciales tempranos y fuertes con podas en varias etapas, si el objetivo es la producción de madera sin nudos (clearwood). Un esquema de manejo de estas características, en el cual el raleo debe efectuarse en la fase de crecimiento juvenil (Assmann, 1970), cuando aún no hay una plena ocupación del sitio y los árboles no alcanzan dimensiones comerciables ni pueden expresar su potencial de crecimiento y sus características genéticas (Reukema, 1979), privilegia el crecimiento individual del árbol y su valor por sobre la

productividad total en volumen del rodal (Espinoza *et al.*, 1990). Su adopción implica, en consecuencia, una pérdida en volumen deliberadamente "aceptada" (Lavery, 1986), pérdida que debe más que compensarse con la superior calidad y valor de la madera producida. Es por ello que este objetivo de producción está fuertemente ligado a condiciones económicas y de mercado.

Después de algunos años de aplicación de estas pautas de manejo, nadie discute la necesidad de que el sector forestal nacional disponga de una base local de datos capaz de generar información permanente para responder a las múltiples interrogantes que plantea esta actividad. Por ejemplo, interesa determinar la densidad a que debe manejarse un rodal para lograr mayores dimensiones de los árboles seleccionados con una mínima disminución de su productividad. Por ello, algunas empresas del sector establecieron una serie de parcelas permanentes en predios de su propiedad, con el objeto de estudiar en rodales jóvenes y sin intervención silvícola previa (destinados a la producción de madera sin nudos) la respuesta a diferentes intensidades de raleo. Este escrito describe los resultados de uno de estos ensayos al cabo de 6 años de establecido.

METODOLOGIA

Area de estudio. Se escogió un rodal de pino radiata no raleado de segunda rotación, plantado el año 1979 a una densidad de 1.600 plantas por hectárea e índice de sitio promedio establecido por Forestal Mininco de 29 m. El rodal se ubica en el predio Cabramallín, de propiedad de Forestal Mininco S.A., próximo a la localidad de Collipulli, IX Región (37°57' latitud sur, 72°21' longitud oeste).

El lugar presenta topografía de lomajes con pendientes diversas y la altitud es de 470 m. Los suelos, originados de cenizas volcánicas recientes, pertenecen a la serie Santa Bárbara. Presentan textura franco arenosa muy fina, estructura granular fina, ligeramente plásticos y adhesivos, profundos y con niveles medios a altos de erosión de manto (Carrasco y Millán, 1990).

La información climática, proveniente de la estación meteorológica que la empresa mantiene en el predio Porvenir, 20 km al norte del área de estudio, indica que la temperatura media anual registrada en el período 1985-1987 es de 13.4 °C, con una mínima media de 7.9°C y una máxima

media de 19.2°C. La precipitación anual en 1990 fue de 1.716 mm y en promedio de 1.345 mm para el período 1985-1990.

Diseño del estudio y tratamientos. El estudio se planificó para evaluar el efecto del raleo en el crecimiento de los árboles. Se utilizó un diseño de parcelas al azar para efectos fijos, con 10 unidades experimentales o parcelas cuadradas de 0.10 ha.

Los niveles de raleo seleccionados, cada uno con una repetición, fueron los siguientes;

Símbolo	Tratamiento
T1	400 árboles/ha
T2	600 árboles/ha
T3	800 árboles/ha
T4	1.200 árboles/ha
T0	1.550 árboles/ha (testigo sin raleo)

El raleo se efectuó en julio de 1985, cuando el rodal tenía 6 años de edad, realizándose también una poda hasta una altura de 3 metros a todos los árboles remanentes. Posteriormente, se elevó la altura de poda a 4 m en 1986 y a 5 m en 1988, incluyendo en estas oportunidades los árboles de las parcelas testigo. En todos los casos, la intensidad de poda fue equivalente a un 50% de la altura total de los árboles.

Mediciones y análisis de los datos. El diámetro a la altura del pecho (dap) se midió en todos los árboles de las parcelas en julio de 1985, octubre de 1986, abril de 1988 y mayo de 1991.

Las alturas totales se midieron en una submuestra de 20 árboles por parcela, abarcando el espectro diamétrico observado al inicio del estudio, submuestra que se mantuvo en todas las mediciones.

La posición social de los árboles y su calidad fueron determinadas en la primera y en la última medición. Para ello se clasificaron todos los árboles de las parcelas según su posición social en el dosel de copas como dominante o codominante e intermedio o suprimido. Además, se registró la forma del fuste y de la copa de cada árbol, distinguiéndose tres categorías de calidad: calidad 1 (bueno), calidad 2 (regular) y calidad 3 (malo), siguiendo la codificación propuesta por Schädelin (1931), según Hawley y Smith (1972).

Se analizó el crecimiento en diámetro y en área basal para el total de árboles del rodal, el crecimiento diamétrico de los 200 árb/ha y los 300 árb/ha más grandes o de mayor dap y el crecimiento

en altura y volumen en pie, en metros cúbicos sólidos, en los mismos árboles en que se midió la altura total.

El volumen se calculó con la función de ahusamiento para árboles totales de Pera (1982), según Peters *et al.* (1985), función que calcula el volumen del árbol completo sin corteza, desde la base hasta el ápice.

La respuesta en crecimiento para dap, área basal, altura total y volumen de rodal se evaluó comparando su crecimiento medio al año 1991 y, además, comparando los incrementos periódicos anuales entre periodos de medición: 1985-1986 (15 meses), 1986-1988 (18 meses) y 1988-1991 (37 meses).

Se aplicó análisis de varianza para detectar evidencias de diferencias significativas ($p=0.05$) de crecimiento entre los distintos tratamientos y la prueba de Bartlett para comprobar la homocedasticidad de varianza, utilizándose la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1988) para separar las medias cuando los efectos mostraron ser estadísticamente significativos ($p=0.05$).

RESULTADOS

Crecimiento en diámetro. Como respuesta al raleo, el crecimiento en diámetro de los árboles en todos los tratamientos se incrementó, particularmente en los espaciamientos más amplios (fig. 1a).

Al año 1991, oportunidad en que se efectuó el último control, los tres tratamientos de raleo con mayor intensidad presentan diferencias significativas con el testigo. Sin embargo, no se detectan diferencias significativas entre los tratamientos con raleo, cualquiera sea el nivel de intensidad de la intervención (cuadro 1a).

En todos los tratamientos el incremento medio anual del diámetro tiende a decrecer con la edad y en forma más marcada mientras mayor es el nivel de densidad (fig. 1b).

La tasa de crecimiento en diámetro en el período 88-91 es menor que en el período 85-88. Después de 6 años de crecimiento, las parcelas más intensamente raleadas (T1 y T2) muestran la mayor tasa de crecimiento anual en diámetro, detectándose diferencias significativas con el testigo y T4. En promedio, los árboles de estos últimos tratamientos crecieron un 35% y 24% menos, respectivamente, que los árboles del tratamiento T1 (cuadro 1b).

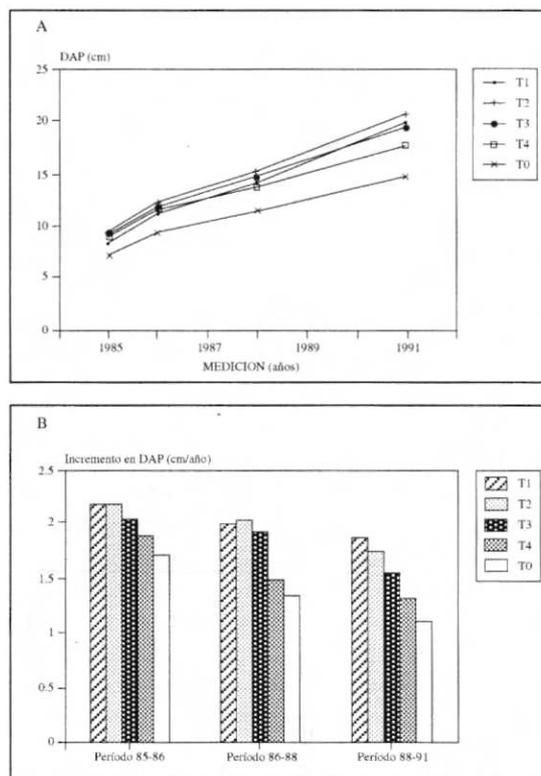


Figura 1. (A) Diámetro medio y (B) incremento periódico anual en diámetro por tratamiento.

(A) Average diameter, (B) periodic diameter increase per treatment.

En la figura 2 se observa que el raleo tiene como consecuencia una distribución de diámetro más uniforme, la que se acentúa con la intensidad de la intervención. En las parcelas testigo o ligeramente raleadas, aproximadamente el 75% de los árboles se concentran en el rango diamétrico 14-20 cm, siendo este rango superior a 22 cm en las parcelas más intensamente tratadas.

El crecimiento en diámetro, dentro de cada tratamiento, tiende a ser proporcional al diámetro del árbol al momento del raleo; sin embargo, se detectó cierta variación en la tasa de incremento puesto que, en algunos casos, los árboles más grandes por parcela en 1985 no lo eran en 1991.

En lo que se refiere al crecimiento en diámetro de los árboles más grandes, es decir los 200 y 300 árboles por hectárea con mayor dap, éstos siguen, en general, el mismo patrón de comportamiento que el dap medio del rodal.

Las diferencias en diámetro medio entre todos los árboles y los 200 o 300 árboles mayores tienden a disminuir a medida que aumenta el espacia-

CUADRO 1a

Diámetro medio (cm) por tratamiento y año de medición.
Average diameter per treatment and year of measurement.

Tratamiento	Año			
	1985	1986	1988	1991
T1	8.3a	11.0ab	14.0a	19.7a
T2	9.4a	12.1a	15.2a	20.5a
T3	9.2a	11.7a	14.6a	19.3a
T4	9.0a	11.4ab	13.6a	17.6ab
T0	7.1a	9.2b	11.2b	14.5b

CUADRO 1b

Incremento periodico anual en diámetro (cm/año) por tratamiento.
Periodic diameter increase (cm/year) per treatment.

Tratamiento	Período				
	85-86	86-88	88-91	85-91	85-88
T1	2.18a	2.00a	1.86a	1.96a	2.08a
T2	2.18a	2.02a	1.74abc	1.91a	2.09a
T3	2.04a	1.91a	1.54abcd	1.74ab	1.97ab
T4	1.91a	1.48b	1.30cd	1.48bc	1.67b
T0	1.72a	1.33b	1.08d	1.28c	1.51c

Dentro de cada columna, valores de diámetro seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P=0.05)

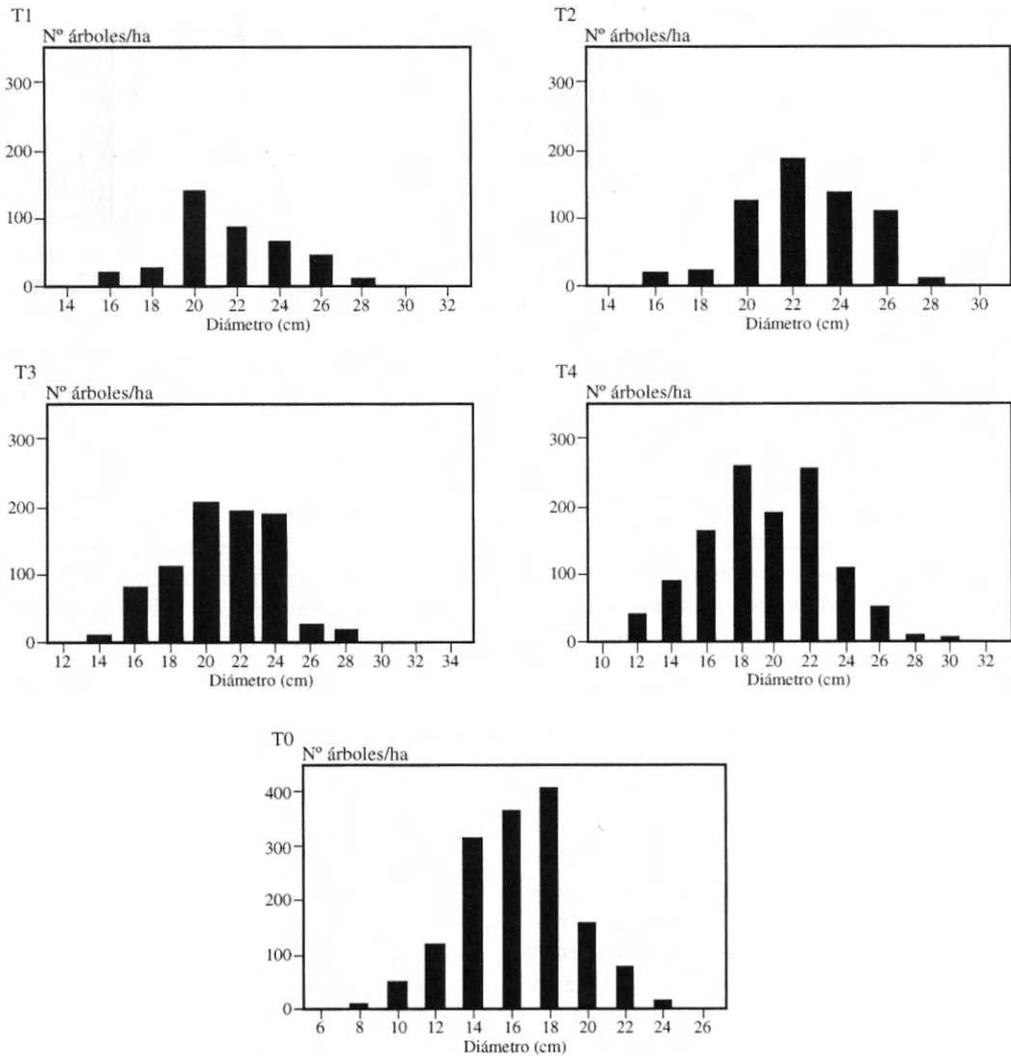


Figura 2. Número de árboles por clase de diámetro y por tratamiento 6 años después de iniciado el estudio.
Number of trees according to diameter class and treatment 6 years after beginning the study.

miento (fig. 3); por ejemplo, para los 200 árb/ha más grandes es de 2.3 cm en T1 (400 árb/ha) y de 5.2 cm en T4 (1.200 árb/ha).

El análisis de los 200 árb/ha más grandes indica que ninguno de los niveles de raleo produjo árboles de diámetros significativamente mayores que el testigo. Sin embargo, cuando se consideran los 300 árb/ha más grandes, los niveles intermedios de raleo (T2 y T3) logran diámetros significativamente superiores que el testigo. Los diámetros de los tratamientos raleados no presentan diferencias significativas entre sí.

El incremento periódico anual de los árboles más grandes sigue, en general, el mismo patrón descrito para el crecimiento medio de estos árboles. Aunque el incremento en el nivel de raleo se asocia con una tasa de crecimiento anual en diámetro superior, las diferencias encontradas aún no son significativas.

Lo anterior sugiere que los árboles de mayores dimensiones todavía no son afectados por el espaciamiento; sólo los árboles de las parcelas más intensamente raleadas (T1 y T2) están creciendo en diámetro a una tasa significativamente superior que aquellos de las parcelas testigo.

Crecimiento en altura total. Al cabo de 6 años, el crecimiento en altura no está afectado por la densidad (figura 4a), con excepción del tratamiento T2 que muestra una altura promedio significativamente mayor que el testigo (T0). En la primera medición ambos tratamientos ya presentaban la mayor diferencia en valores absolutos, aunque ésta no era significativa (cuadro 2a).

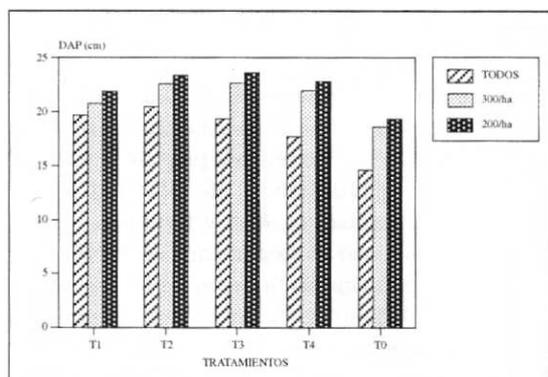


Figura 3. Diámetro medio de todos los árboles y de los 200 árb/ha y 300 árb/ha más grandes, seis años después de iniciado el estudio.

Average tree diameter 6 years after beginning the study: -all trees: -300 higher trees/ha; -200 higher trees/ha

CUADRO 2a

Altura promedio (m) por tratamiento y año de medición.

Average height (m) per treatment and year of measurement.

Tratamiento	Año			
	1985	1986	1988	1991
T1	5.8a	7.6a	9.9a	15.0ab
T2	6.4a	8.9a	11.2a	16.6a
T3	6.0a	8.1a	10.5a	16.4ab
T4	5.9a	7.9a	10.5a	15.9ab
T0	5.0a	7.1a	9.5a	14.2b

A diferencia del incremento anual en diámetro, el incremento promedio anual en altura en las parcelas raleadas es ligeramente mayor en el período 88-91 que en el período 85-88 (cuadro 2b). Todos los árboles de las parcelas raleadas presentan un mayor crecimiento promedio en altura con posterioridad al año 1988; por el contrario, las parcelas sin raleo declinan su tasa de crecimiento a partir del año 1988 (fig. 4b).

CUADRO 2b

Incremento periódico anual en altura (m/año) por tratamiento.

Periodic height increase (m/year) per treatment.

Tratamiento	Período				
	85-86	86-88	88-91	85-91	85-88
T1	1.48	1.51	1.67ab	1.59b	1.50a
T2	2.01	1.54	1.77ab	1.76ab	1.75a
T3	1.71	1.61	1.90	1.78a	1.66a
T4	1.67	1.74	1.75ab	1.73ab	1.71a
T0	1.75	1.58	1.51b	1.58b	1.66a

Dentro de cada columna, valores de altura seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($p=0.05$)

Crecimiento en área basal. El análisis de varianza para el área basal total por hectárea al año 1991 detectó efectos significativos del raleo en el crecimiento de los árboles. El crecimiento en área basal tiende a decrecer a medida que la intensidad del raleo aumenta (fig. 5a). El nivel de raleo más suave (T4) y las parcelas sin raleo (T0) logran áreas basales mayores y significativamente

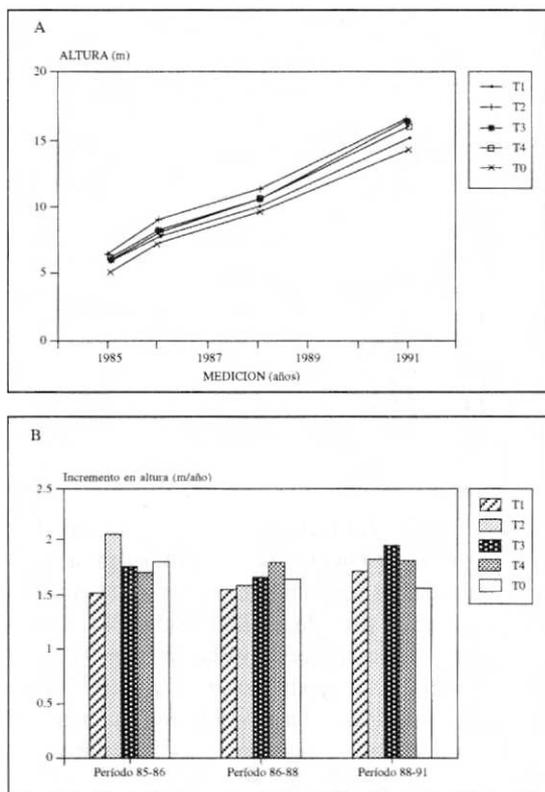


Figura 4. (A) Altura media y (B) incremento periódico anual en altura por tratamiento. (A) Average height, (B) periodic height increase per treatment.

superiores a las parcelas más severamente raleadas (T1 y T2). Las parcelas T4 y testigo tienen al año 1991 un 139% (17.1 m²/ha) y un 110% (13.5 m²/ha) más área basal que las parcelas T1, así como un 48% (9.5 m²/ha) y un 30% (5.9 m²/ha) más área basal que las parcelas T2, respectivamente (cuadro 3a).

CUADRO 3a

Area basal (m²/ha) por tratamiento y año de medición. Basal area per treatment and year of measurement.

Tratamiento	Año			
	1985	1986	1988	1991
T1	2.2c	3.8d	6.2d	12.3d
T2	4.2bc	6.9cd	10.8cd	19.9bc
T3	5.3ab	8.7bc	13.4b	23.5ab
T4	7.7a	12.3a	17.5a	29.4a
T0	6.1ab	10.4ab	15.3ab	25.8ab

El crecimiento en área basal por árbol se ha incrementado agudamente con el aumento del espaciamiento; sin embargo, la mayor tasa de crecimiento individual no es suficiente aún para compensar el menor número de árboles. De esta forma, las diferencias iniciales en área basal por hectárea entre tratamientos han aumentado en el tiempo (fig. 5b). Las parcelas T4 y testigo tienen tasas de incremento anual en área basal significativamente superiores a las parcelas más severamente raleadas. Las parcelas T4 crecen en el período 85-91 a una tasa 2.15 y 1.38 veces mayor que las parcelas T1 y T2, respectivamente.

Para todos los tratamientos, el incremento periódico anual en área basal en el período 88-91 fue mayor que en el período 85-88 (cuadro 3b), mostrando las parcelas más intensamente raleadas mejores tasas de incremento relativo (35.6% para T1 y 1.2% para el testigo).

CUADRO 3b

Incremento periódico anual en área basal (m²/ha/año) por tratamiento. Periodic basal area increase (m²/ha/year) per treatment

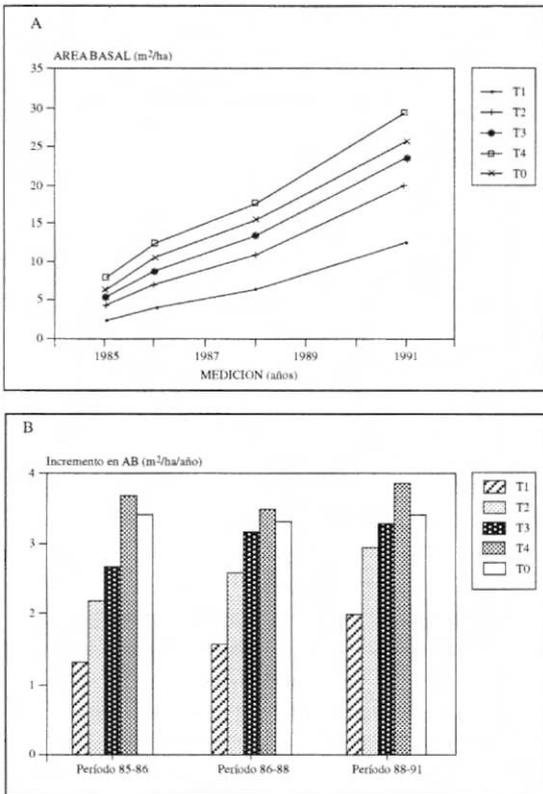
Tratamiento	Período				
	85-86	86-88	88-91	85-91	85-88
T1	1.32c	1.58c	1.98b	1.73c	1.46c
T2	2.21bc	2.59bc	2.94ab	2.69b	2.42b
T3	2.68abc	3.16abc	3.28a	3.12ab	2.94ab
T4	3.69a	3.49a	3.85a	3.72a	3.58a
T0	3.41ab	3.31ab	3.39a	3.37ab	3.35a

Dentro de cada columna, valores de área basal seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p=0.05).

Crecimiento en volumen. El volumen total neto por hectárea (no se registró mortalidad en ninguna de las parcelas) y el incremento periódico anual en volumen por tratamiento y año de medición se presentan en los cuadros 4a-b y figura 6.

En contraste con el crecimiento en diámetro, y al igual que el crecimiento en área basal, el crecimiento en volumen fue mayor en las parcelas testigo y moderadamente raleadas y menor en las parcelas fuertemente intervenidas.

A la edad de 12 años, el volumen acumulado en el tratamiento T1 ascendió a 95.6 m³/ha, significativamente menor que los 222.0 m³/ha de T4 y los 189.1 m³/ha del testigo. En general, las parcelas moderadamente raleadas (T4 y T3) tienen



(A) Average basal area, (B) periodic basal area increase per treatment.

mayores volúmenes totales que las parcelas intensamente raleadas (cuadro 4a).

El raleo ha incrementado el volumen medio por árbol, especialmente los tratamientos de intensidad intermedia y fuerte. El árbol promedio de las parcelas T1 y T2 al año 1991 (0.240 y 0.262 m³, respectivamente) tiene un 23% (0.055 m³) y un 29% (0.077 m³) mayor volumen que el árbol promedio de las parcelas T4 (0.185 m³). El volumen medio por árbol de las parcelas T2 es más de dos veces superior al de las parcelas testigo (0.122 m³). Sin embargo, la mayor dimensión de los árboles individuales no es suficiente para compensar su menor número.

En las parcelas raleadas, el incremento en volumen total muestra una relación lineal positiva con la densidad, similar a la relación entre el incremento en área basal y la densidad (fig. 6b).

El incremento anual promedio en volumen varió grandemente entre mediciones sucesivas para todos los tratamientos, aumentando sostenidamente

desde el año 1985 al año 1991. Las diferencias en crecimiento en volumen fueron grandes y significativas en todos los períodos de medición entre las parcelas con raleo moderado y aquellas en que la reducción de la densidad fue mayor (T1 y T2). Las tasas de incremento fueron similares entre los niveles intermedios de densidad residual (T3 y T4) y las parcelas testigo.

En general, la tendencia observada es una disminución sostenida de los incrementos en volumen con la reducción de la densidad. En el período 85-91, las parcelas T4 crecieron a una tasa 2.2 y 1.4 veces superior a las parcelas T1 y T2 (cuadro 4b).

En todos los tratamientos los valores de incremento periódico anual (volumen acumulado al año 1991 menos el volumen al inicio del estudio divi-

CUADRO 4a

Volumen total (m³/ha) por tratamiento y año de medición.

Total volume (m³/ha/year) per treatment and year of measurements.

Tratamiento	Año			
	1985	1986	1988	1991
T1	8.3c	17.7c	34.8c	95.6c
T2	16.2bc	33.8b	61.1bc	157.5b
T3	19.7ab	39.1ab	73.6ab	185.2ab
T4	27.7a	58.0a	94.5a	222.0a
T0	20.8ab	44.3ab	80.8ab	189.1b

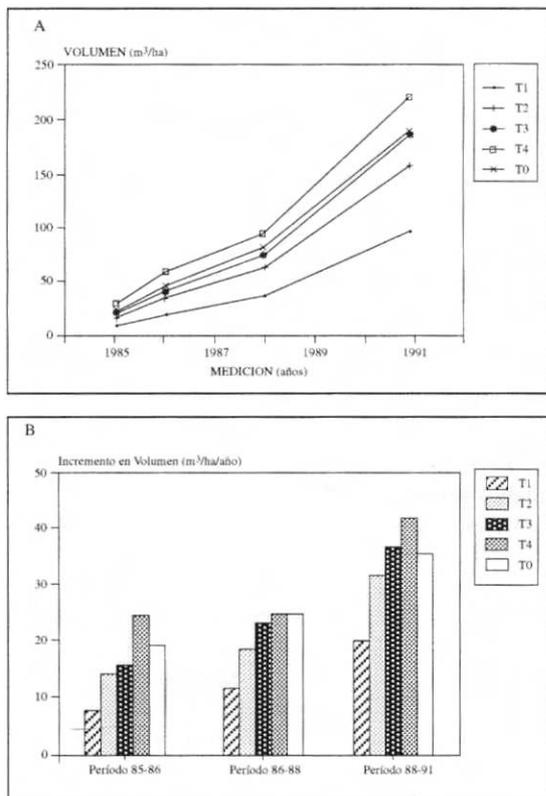
CUADRO 4b

Incremento periódico anual en volumen total (m³/ha/año) por tratamiento.

Periodic total volume increase (m³/ha/year) per treatment.

Tratamiento	Período				
	85-86	86-88	88-91	85-91	85-88
T1	7.5d	11.4b	19.7b	15.0b	9.6c
T2	14.0c	18.2ab	31.3ab	24.2a	16.3bc
T3	15.5bc	23.0a	36.2a	28.4a	19.6ab
T4	24.2a	24.3a	41.4a	33.3a	24.3a
T0	18.8b	24.3a	35.1ab	28.9a	21.8ab

Dentro de cada columna, valores de volumen seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (p=0.05).



(A) Average volumen, (B) periodic volume increase per treatment.

dido por el período de medición, 70 meses, a escala anual) son superiores a los de incremento medio anual; a la edad de 12 años, éstos son de 8.0, 18.5 y 15.8 m³/ha/año para los tratamientos T1, T4 y testigo, respectivamente (cuadro 5).

Dominancia y calidad. Aunque las variaciones de dominancia de los árboles en el período de estudio son relativamente leves (cuadro 6), se aprecia una tendencia al aumento del nivel de dominancia en las parcelas más intensamente raleadas; por el contrario, las parcelas con raleo moderado y el testigo tienden a revertir este desarrollo, sugiriendo que por efecto de la mayor densidad hay un proceso de recesión de algunos árboles a posiciones subordinadas en el dosel.

El porcentaje de árboles de calidad 1 por tratamiento (cuadro 6) tiende a disminuir a medida que aumenta la densidad residual. Sin embargo, esta tendencia es menos definida en la medición efectuada el año 1991, en que pocos arboles se incluyen en esta categoría. Ello puede ser reflejo de

CUADRO 5

Número de árboles por hectárea, volumen acumulado e incremento periódico (IPA) y medio anual (IMA) a la edad de 12 años por tratamiento.
Number of trees per hectare, accumulated volume periodic increase (IPA) and yearly average (IMA) at age 12 per treatment.

Tratamiento	Arboles/ha (Nº)	Volumen (m ³ /ha)	IPA (m ³ /ha/año)	IMA (m ³ /ha/año)
T1	400	95.6	15.0	8.0
T2	600	157.5	24.2	13.1
T3	800	185.2	28.4	15.4
T4	1.200	222.0	33.3	18.5
T0	1.550	189.1	28.8	15.8

CUADRO 6

Porcentaje de árboles dominantes y de calidad 1 por tratamiento al inicio (1985) y al término (1991) de las mediciones.
Percentage of dominant and quality 1 trees per treatment at the beginning (1985) and at the end (1991) of the measurements.

Tratamiento	Dominancia		Calidad			
	1985	1991	Fuste		Copa	
	1985	1991	1985	1991	1985	1991
T1	73	80	59	4	86	42
T2	78	87	54	4	83	32
T3	79	79	47	3	81	10
T4	78	69	43	2	68	13
T0	75	71	45	3	76	6

distintos criterios empleados en el proceso clasificatorio, el que está basado en aspectos estrictamente subjetivos.

DISCUSION

El efecto de raleos precomerciales en el crecimiento de plantaciones de pino radiata, cuando el objetivo de ellos es la producción de madera sin nudos, no está mayormente documentado en la literatura. La información disponible se centra usualmente en determinar el efecto de raleos precomerciales en rodales densos regenerados en forma natural o en plantaciones que no consideran podas. Este último factor es de capital importancia en el desarrollo de un rodal, ya que en muchas especies de

coníferas la drástica reducción de la superficie fotosintética de un número selecto de árboles de un rodal conlleva una pérdida de crecimiento, pérdida que es más intensa mientras más severa es la poda (e.g. Barret, 1968, en pino ponderosa; Arvidsson, 1986, en pino *sylvestris*; Cahill *et al.*, 1986, en pino oregón; Stohr *et al.*, 1987, en pino taeda; Sutton y Crowe, 1975; Lange *et al.*, 1986; Espinosa, 1989, 1991a, 1993; Arrué y López, 1990; Hernández, 1991, en pino radiata).

La disminución del crecimiento, asociada a la poda, no es usualmente contrarrestada por el incremento del espaciamiento entre los árboles remanentes por efecto del raleo, al menos hasta una edad próxima a la de rotación, ya que el problema de espacio no es aún determinante en su desarrollo (Perry, 1985). Lo expuesto implica un sacrificio deliberado en producción de volumen total (Lavery, 1986; Smith, 1986) que se justificaría por el mayor valor de árboles de grandes dimensiones y por el incremento en calidad de la madera producida.

En este estudio, las variaciones en densidad inducidas por el raleo practicado en 1985 causaron en general grandes variaciones en el crecimiento en diámetro, pero fueron de escasa magnitud en el crecimiento en altura. Las parcelas raleadas crecieron más rápido en diámetro que las parcelas testigo; las parcelas más intensamente raleadas lo hicieron a una tasa mayor que las raleadas moderadamente. Como lo establecieron Reukema y Bruce (1977) y Harrington y Reukema (1983) en pino oregón y fue también observado por Rivera *et al.* (1985), Espinosa (1991b, 1993) y Hernández (1991), entre otros, en pino radiata, árboles creciendo a espaciamientos más amplios alcanzarán dimensiones mayores y el efecto del raleo persistirá por más tiempo.

El raleo no tuvo un efecto significativo en el crecimiento en altura de los árboles. A diferencia del crecimiento en diámetro no se aprecia una tendencia clara que relacione el espaciamiento con la tasa de crecimiento en altura. Si se considera el incremento experimentado en el período 85-91, sólo las parcelas que recibieron un raleo de intensidad media (T3) crecieron a una tasa significativamente mayor que las parcelas sin raleo y las más severamente intervenidas (T1). Sin embargo, esta tendencia no se mantiene si se considera los últimos tres años de crecimiento (88-91), no detectándose diferencias significativas entre las parcelas raleadas. Este comportamiento de la altura

no es concordante con el señalado por Reukema y Bruce (1977) en pino oregón, quienes establecieron que los raleos precomerciales mejoran el crecimiento en altura, especialmente en los peores sitios. Sin embargo, añaden que el espaciamiento tendría un efecto reducido cuando la tasa de crecimiento en altura está incrementando. En este estudio, la tasa de crecimiento en todos los tratamientos es mayor en el período 88-91 que en el período precedente (cuadro 2b).

En contraste con lo señalado profusamente en la literatura referente a la relación entre densidad y crecimiento en altura, Lavery (1986) indica que espaciamientos amplios característicos de regímenes de madera sin nudos causarían una disminución del crecimiento en altura en pino radiata. Ello se deduciría de los datos que genera una investigación sobre cultivo agroforestal establecida en una granja agrícola ubicada cerca de Rotorua, en Nueva Zelanda. Sin embargo, el régimen de madera limpia en un cultivo mixto agroforestal requiere espaciamientos más amplios que cuando sólo se persigue la obtención de madera. Aunque las causas de un decrecimiento de la altura en árboles creciendo libremente no son claras, podría estar asociada a un mayor flujo de carbohidratos al crecimiento de ramas y a la parte basal del fuste en desmedro del crecimiento en altura (Smith, 1986). Evidencia indirecta sugiere también que el crecimiento en altura en pino radiata creciendo a muy bajas densidades puede ser marcadamente reducido como consecuencia del incremento en la exposición al viento (Cremer *et al.*, 1982).

Un rasgo quizás sorprendente de los resultados obtenidos a la fecha es el menor diámetro medio de los 200 árb/ha más grandes en T1 comparado con los mayores 200 árb/ha en los restantes tratamientos de raleo. Ello podría ser en parte función del raleo practicado en estas parcelas, ya que siempre, especialmente cuando se practican raleos operacionales, cabe la posibilidad de una selección negativa de árboles. Esto ocurre, por ejemplo, cuando en la selección predominan aspectos como la forma del fuste y el espaciamiento por sobre el vigor del árbol (Woollons y Whyte, 1989). También, cuando no se toma todo el tiempo necesario para escoger los potenciales árboles de cosecha. Si este es el caso, es indudable que la probabilidad de una selección inadecuada será mayor mientras menor sea el número de árboles a retener.

Si el supuesto de alguna deficiencia en la selec-

ción de los árboles es correcto, podría explicar el ligeramente menor porcentaje de árboles clasificados como dominantes al inicio de las mediciones en T1 (cuadro 6), ya que era de esperar un incremento en el nivel de dominancia con la intensidad del raleo, así como una mayor variación entre los diferentes tratamientos de árboles que ocupan una posición dominante en el dosel, especialmente entre los niveles extremos de densidad.

En este estudio se observa que el incremento en volumen está fuertemente relacionado con las densidades aquí representadas. A juzgar por los resultados obtenidos en los seis años de control, los tratamientos de menor densidad residual (T1 y T2) muestran crecimientos en diámetro más altos, pero considerablemente menos producción en volumen que los tratamientos de raleo más suaves (T3 y T4). Estos últimos combinan crecimientos en diámetro moderadamente rápido (especialmente T3) con relativamente alta producción en volumen. A la fecha, T3 parece ser el tratamiento más atractivo.

Los tratamientos de raleo más intensos (T1 y T2) tienen una menor tasa de declinación de su crecimiento en diámetro, con árboles grandes y vigorosos. Sin embargo, el volumen acumulado, el incremento medio anual y el incremento periódico anual (cuadro 5) fueron menores, particularmente en T1, indicando que la densidad fue reducida en exceso como para crecer a una tasa igual o mayor a las parcelas testigo. No obstante, si la tendencia en crecimiento en volumen se mantiene (cuadro 4b), T2 podría en un futuro cercano sobrepasar la tasa de crecimiento del testigo. Resultados similares obtuvieron Tappeiner *et al.* (1982) en un rodal joven de pino oregón, 16 años después de la aplicación de diferentes intensidades de raleo.

Si la elección del régimen o plan de raleo a aplicar es un compromiso entre deseos conflictivos de alta producción en volumen y grandes diámetros, el punto en el cual el énfasis debería cambiar de crecimiento en diámetro a crecimiento en volumen dependerá del diámetro del rodal en el cual el raleo es considerado financieramente y operativamente factible y de la elección de la edad de cosecha (Curtis y Marshall, 1986). En este estudio, para determinar cuál de los diferentes tratamientos de raleo reduce a un mínimo las pérdidas de volumen y permite la obtención de árboles de grandes dimensiones, deberá considerarse la oportunidad de aplicación de un raleo comercial y extenderse el período de medición por otros 12 a 18 años.

Otro aspecto a considerar, que se desprende de este estudio, es la mayor uniformidad en la distribución de los diámetros que se logra por efecto del raleo, especialmente los más intensos. Factor importante cuando el objetivo es la producción de madera aserrada, ya que trozos más uniformes resultan en menores costos de cosecha y manufactura (Bacon *et al.*, 1982).

CONCLUSIONES

El análisis de los datos para un período de crecimiento de 6 años indica que:

1. El raleo incrementó la tasa de crecimiento en diámetro de los árboles. Seis años después de intervenido el rodal, las parcelas más intensamente raleadas crecieron a una tasa significativamente mayor que las raleadas moderadamente y que el testigo.

2. A la fecha del último control, el crecimiento en diámetro de los 200 y 300 árb/ha de mayor dap no difiere significativamente entre las parcelas raleadas.

3. El raleo no tuvo un efecto definido en el crecimiento en altura. En el período 88-91 no se detectaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento en altura entre las parcelas raleadas. Estas crecieron en el período señalado a una tasa promedio anual mayor a 1.65 m.

4. La tasa de crecimiento en diámetro en el período 88-91 es, para todos los tratamientos, menor que en el período 85-88. Por el contrario, la tasa de incremento en altura es mayor en el período 88-91 que en el período precedente.

5. Intensidades medias a altas de raleo disminuyen el volumen total por hectárea; raleos livianos lo incrementan. Las parcelas más densas alcanzan volúmenes totales significativamente superiores a las parcelas menos densas, puesto que las mayores dimensiones de los árboles de las parcelas raleadas no compensan su menor número.

6. Existe una estrecha relación entre la tasa de crecimiento en volumen (y área basal) y las densidades residuales consideradas. A mayor densidad mayor crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Empresa Forestal Mininco S. A. que proporcionó los datos utili-

zados en este trabajo; al señor Luis Rosales C. por la confección de las figuras insertas en el texto y a los revisores anónimos por sus críticas constructivas a este manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

- ARRUE, E., R. LOPEZ. 1990. Efectos de poda y raleo en el crecimiento en pino insigne. Forestal Río Vergara S.A., Div. Inf. y Desarrollo, Depto. de Desarrollo. Nacimiento, Chile.
- ARVIDSSON, A. 1986. "Pruning for quality", *Small Scale Forestry* 1:1-7.
- ASSMANN, E. 1970. *The principles of forest yield study*, Pergamon Press, Oxford.
- BACON, G.J., P.H. HAWKINS, J.P. WARD. 1982. "Productivity of commercial thinning operations in Queensland plantations: influence of alternative silvicultural options", *N.Z.J. For. Sci.* 12:308-323.
- BARRET, J.W. 1968. Pruning of ponderosa pine, effect on growth. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-68.
- CAHILL, J.M., T.A. SNELGROVE, T.D. FAHEY. 1986. "The case for the pruning young-growth stand of Douglas-fir". En: CD. OLIVER, D.P. HANLEY and J.A. JOHNSON (eds.). *Douglas-fir: stand management for the future*: 123-132. College of Forest Resources, Univ. of Washington, Seattle, Washington.
- CARRASCO, P., J. MILLAN. 1990. Proyecto suelos forestales de la VIII Región. Univ. de Concepción, Depto. de Cs. Forestales/Min. de Agricultura. Chillán, Chile.
- CREMER, K., C. BOROUGH, F. McKINNEL, P.R. CARTER. 1982. "Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations", *N.Z.J. For. Sci.* 12(2): 244-268.
- CURTIS, R., D. MARSHALL. 1986. Levels-of-growing-stock cooperative study in Douglas-fir. Report N° 8 - The LOGS study: twenty-year results. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-356.
- ESPINOSA, M. 1989. Efecto de la poda en el crecimiento de un rodal de pino radiata ubicado en el predio Loma Colorado de FORMIN en el período 1986-1988. Univ. de Concepción, Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
- ESPINOSA, M. 1991a. Efecto de diferentes intensidades de poda y de raleo en el crecimiento de un rodal joven de pino radiata. Univ. de Concepción, Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
- ESPINOSA, M. 1991b. Efecto de la oportunidad de poda y raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata ubicado en el fundo Los Alamos de Forestal Mininco S.A. Univ. de Concepción, Depto. de Cs. Forestales. Chillán, Chile.
- ESPINOSA, M. 1993. Efectos de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de rodales de pino radiata establecidos en la VIII Región. Univ. de Concepción, Fac. de Cs. Forestales, Depto. de Silvicultura. Chillán, Chile.
- ESPINOSA, M., R. ESCOBAR, F. DRAKE. 1990. "Silvicultura de las plantaciones forestales en Chile: pasado, presente y futuro", *Agro-Ciencia* 6: 131-144.
- HARRINGTON, C. D. REUKEMA. 1983. "Initial shock and long-term stand development following thinning in a Douglas-fir plantation", *For. Sci.* 29: 33-46.
- HAWLEY, R., D. SMITH. 1972. *Silvicultura práctica*. Omega, S.A., Barcelona.
- HERNANDEZ, M. 1991. *Efecto de poda y raleo en el crecimiento de rodales jóvenes de Pinus radiata D. Don ubicados en Arauco, Los Angeles y Temuco*. Tesis de grado, Universidad de Concepción, Depto. Cs. Forestales, Chillán, Chile.
- LANGE, P.W., C. DE RONDE, B.V. BREDEKAMP. 1987. "The effects of different intensities of pruning on the growth of *Pinus radiata* in South Africa", *South African Forestry Journal* 143: 30-36.
- LAVERY, P.B. 1986. Plantation forestry with *Pinus radiata*: review papers. Paper N° 12. School of Forestry, Univ. of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
- PERRY, D.A. 1985. "The competition process in forest stands". En: M. CANNEL and J. JACKSON (eds.). *Attributes of trees as crop plants*: 481-505. Institute of Terrestrial Ecology, Abbots Ripton, Hunts, England.
- PETERS, R., M. JOBET, S. AGUIRRE. 1985. *Compendio de tablas auxiliares para el manejo de las plantaciones de pino insigne*. Instituto Forestal, Manual N° 14, Santiago, Chile.
- REUKEMA, D. 1979. Fifty-year development of Douglas-fir stands planted at various spacings. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-253.
- REUKEMA, D., D. BRUCE. 1977. Effects of thinning on yield of Douglas-fir: concepts and some estimates obtained by simulation. USDA For Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-58.
- RIVERA, J., B. AVILES, L. ROCUANT, E. PEÑA. 1985. "Raleo en un bosque de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) en arenales de la VIII Región". En: E. MORALES y B. OLIVARES (eds.). *Pinus radiata investigación en Chile*. 24-26 de octubre de 1985, Univ. Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- SMITH, D. 1986. *The practice of silviculture*. John Wiley and Sons, New York.
- STEEL, R., J. TORRIE. 1988. *Bioestadística: principios y procedimientos* (2a ed.). McGraw-Hill, Bogotá, Colombia.
- STOHR, G., D. BAGGIO, J. FABER. 1987. "Green pruning of *Pinus taeda* and its influence on growth in the Parana-Brazil". Tomo IV En: *Simpósio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales*. 6-10 de abril de 1987. Buenos Aires, Argentina.
- SUTTON, W., J. CROWE. 1975. "Selective pruning of radiata pine", *N.Z.J. For. Sci.* 5: 171-195.
- TAPPEINER, J., J. BELL, J. BRODIE. 1982. Response of young Douglas-fir to 16 years of intensive thinning. Oregon State Univ. For. Res. Lab. Res. Bull. 38. Corvallis, Oregon, USA.
- WOOLLONS, R.C., A.G. WHYTE. 1989. "Analysis of growth and yield from three Kaingaroa thinning experiments", *N.Z. Forestry* 34: 12-15.