

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura.



EFECTO DE LA FERTILIZACION POST RALEO EN EL
CRECIMIENTO Y RENTABILIDAD DE UN RODAL
DE Pinus radiata D. Don.



GONZALO RENATO CARRASCO ARELLANO

MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE
1996

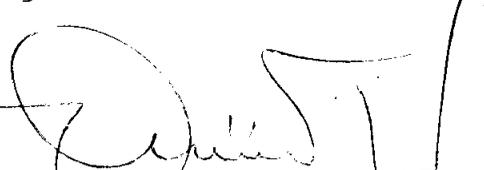
**EFFECTO DE LA FERTILIZACION POST RALEO EN
EL CRECIMIENTO Y RENTABILIDAD DE UN RODAL
DE Pinus radiata D. Don.**

Profesor Asesor



Miguel Espinosa Bancalari.
Profesor Titular.
Ingeniero Forestal Ph. D.

Profesor Asesor



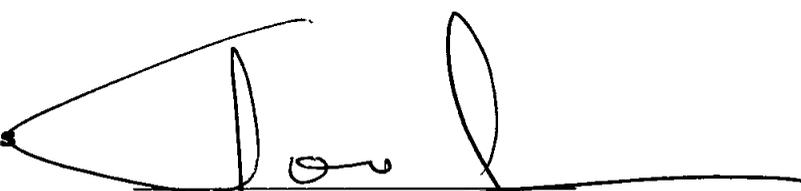
Pedro Manzanarez Núñez.
Profesor Asociado.
Ingeniero Agrónomo M. Sc.

**Director Departamento
Silvicultura**



Miguel Espinosa Bancalari.
Profesor Titular.
Ingeniero Forestal Ph. D.

**Decano Facultad de Ciencias
Forestales**



Jaime García Sandoval.
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.

Calificación de la memoria de título:

Miguel Espinosa Bancalari: ochenta puntos

Pedro Manzanarez Muñoz : ochenta y cinco puntos

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a los profesores: Miguel Espinosa B. y Jorge Cancino C. por su paciencia y constante apoyo en el desarrollo de mi memoria y en mi formación como Ingeniero Forestal.

A la empresa Forestal Mininco S.A. por permitirme realizar este estudio y con especial consideración a José Alvarez M. y Enrique Sandoval H.

Un especial agradecimiento a mis amigos, que sin su constante apoyo y fe en mí, durante los años de estudios no sería lo que hoy soy y seré.



DEDICATORIAS***El Despertar de un 19 de Junio***

Desperté y en mi alma me enseñaste el camino,
eras *tu Señor*.

Me levante y en mi mente sentí una gran
tranquilidad,
eran ustedes *mis padres*.

Camine y sentí en mi corazón una fuerza
incondicional,
eran *mis amigos*.

Dedicada a todos aquellos que me apoyaron para
que en esa mañana helada de invierno de un 19 de
Junio me levantara de mi cama para convertirme
en un

Ingeniero Forestal.

INDICE DE MATERIAS

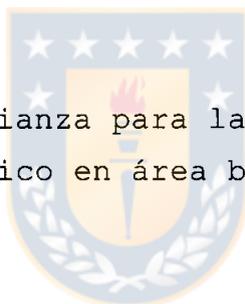
CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
	2.1 Fertilización forestal	3
	2.2 Efectos de la fertilización post raleo sobre parámetros dasométricos	4
III	MATERIALES Y METODOS	7
	3.1 Descripción del área de estudio	7
	3.2 Diseño del ensayo	8
	3.3 Régimen de fertilización	9
	3.4 Variables medidas	10
	3.5 Análisis de datos	12
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	14
	4.1 Crecimiento en diámetro	14
	4.2 Crecimiento en altura total	16
	4.3 Crecimiento en área basal	18
	4.4 Crecimiento en volumen	21
	4.5 Rentabilidad de los tratamientos	23
V	CONCLUSIONES	26
VI	RESUMEN	27
	SUMMARY	28
VII	BIBLIOGRAFIA	29
VIII	ANEXO	34
IX	APENDICE	36

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
<u>En el texto</u>	
1 Descripción de los tratamientos en el ensayo..	8
2 Características dasométricas de los tratamientos al inicio del ensayo.....	9
3 Variables analizadas y sus correspondientes covariables	10
4 Valores promedios de dap inicial (año 1990), final (1994), incrementos y porcentajes.....	11
5 Valores promedios de altura inicial (año 1990), final (1994), incrementos y porcentajes.....	13
6 Valores promedios de área basal inicial (año 1990), final (1994), incrementos y porcentajes.....	15
7 Valores promedios de volumen inicial (año 1990), final (1994), incrementos y porcentajes.....	17
8 Valores promedios de valor actual neto inicial (año 1990), final (1994), incrementos y porcentajes.....	19

INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
<u>En el anexo</u>		
1 A	Descripción de la serie de suelo Collipulli...	34
2 A	Análisis Químico y Físico de los Suelos del predio Laurel Poniente 1985).....	35
<u>En el apendice</u>		
1 B	Análisis de covarianza para la variable incremento periódico en área basal.....	36



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Diseño experimental del ensayo de fertilización post raleo.....	7
2	Valores de DAP acumulado (a) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico de DAP (b) para cada tratamiento.....	12
3	Valores de altura total acumulada (a) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico de la altura total (b) para cada tratamiento....	14
4	Valores de área basal acumulado (a) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del área basal (b) para cada tratamiento.....	16
5	Valores de volumen acumulado (a) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del volumen (b) para cada tratamiento.....	18
6	Estimación del valor actual neto (a) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del valor actual neto (b) para cada tratamiento...	20

I INTRODUCCION

En las últimas décadas las empresas forestales del país han desarrollado e intensificado las prácticas silviculturales orientadas a incrementar la calidad y productividad de los bosques.

Algunas de las prácticas más comunes utilizadas con este fin son el raleo y la fertilización. El raleo concentra el potencial de crecimiento de un sitio forestal en un número menor de árboles, obteniéndose ejemplares de mayor volumen y calidad. La fertilización proporciona los nutrientes que necesita el árbol para su crecimiento, dando como resultado un mayor incremento en madera (relativo a las condiciones climáticas y de suelo); además de provocar diversos cambios en la forma del árbol, en el crecimiento de la copa, en su fisiología, en las raíces, etc., todos los cuáles tienen importancia económica y silvicultural (Barker, 1978).

El raleo genera una mayor disponibilidad de espacio, produciendo en los árboles una considerable necesidad de nutrientes para restablecer su biomasa foliar. La fertilización posterior al raleo proporciona los nutrientes que requiere el árbol para reconstruir su biomasa foliar y aprovechar rápidamente el espacio disponible originado por el raleo, resultando en un incremento más rápido en madera por árbol (Toro, 1992). Experiencias en el extranjero han demostrado que la fertilización después del raleo aumenta la productividad de un rodal; por ejemplo, Woollons y Will (1975) obtuvieron un aumento del incremento medio anual de

8,7 m³/ha/año por sobre el control, en un período de siete años después de la aplicación de una dosis de nitrógeno-potasio-fósforo en un ensayo instalado en un rodal de pino radiata de 13 años en Nueva Zelandia.

Forestal Mininco estableció en Agosto de 1990, un ensayo de fertilización post raleo comercial con diferentes aplicaciones de nutrientes, en un rodal de pino radiata ubicado sobre un suelo de la serie Collipulli, con el objetivo de determinar su efecto sobre el crecimiento y rentabilidad del rodal. Este trabajo presenta y analiza los resultados encontrados en el período comprendido entre 1990 y 1994.



II REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Fertilización forestal

La fertilización forestal consiste en la aplicación de nutrientes que necesita el árbol y que se encuentran en forma deficitaria o no asimilable en el suelo (Baker, 1982, citado por Guajardo, 1987). Estos nutrientes participan en el metabolismo y síntesis de productos finales, como son los carbohidratos, importantes para el desarrollo del árbol (Domínguez, 1984).

Se estima que son 16 nutrientes los que requiere el árbol para su desarrollo (Domínguez, 1984), de los cuales los más importantes para pino radiata son nitrógeno, fósforo y potasio y, en menor grado azufre, calcio, magnesio, cobre y boro (Rocuant et al., 1979, citados por Arteaga y Etchevers, 1986).

La literatura extranjera consultada sobre este tópico, sugiere que la fertilización es una práctica que incrementa la productividad de los rodales forestales (Mead y Gadgil, 1978; Crane, 1982; Duke et al., 1989).

La investigación que se realiza en esta área, en países como Nueva Zelandia, Australia y Canadá, ha comprobado que la fertilización incrementa la productividad de los sitios forestales, especialmente con la aplicación de nitrógeno y fósforo (Nuñez, 1988).

2.2 Efectos de la fertilización post raleo sobre parámetros dasométricos

El efecto de la fertilización después del raleo en el crecimiento en diámetro de los árboles depende de la calidad del sitio, de la intensidad del raleo, de la cantidad y calidad de nutrientes aplicados y de la edad de los árboles residuales (Barker, 1978; Binkley, 1986). Cuando la intensidad del raleo es alta, y la disponibilidad de nutrientes es escasa, se requiere la aplicación de considerables dosis de fertilizantes para que los árboles remanentes tengan una disponibilidad suficiente de éstos para crecer y cerrar rápidamente el dosel, dando como resultado un mayor incremento en diámetro (Barker, 1978).

El incremento es proporcionalmente mayor en los árboles remanentes de menor diámetro (Duke et al., 1989), obteniéndose así un rodal con una distribución diamétrica más homogénea. Mead y Gadgil (1978) y Duke et al. (1989), determinaron que la fertilización y raleo en rodales de pino radiata y pino oregón, respectivamente, produjeron resultados en incrementos en diámetro superiores en relación con el testigo sin fertilizar. Mead y Gadgil (1978), Crane (1982) y Woollons et al. (1988) señalan que en pino radiata la fertilización asociada al raleo puede generar diferencias en el incremento volumétrico de hasta un 12, 40 y 25 %, respectivamente superior al control sin fertilizar con aplicaciones especialmente basadas en nitrógeno. Duke et al. (1989) indican que la fertilización con raleos intensivos, produce un mayor incremento en el volumen individual por árbol, lo que conlleva a un mayor volumen de madera aserrada. Crane (1982) encontró que la

fertilización efectuada en todos los raleos (cuatro) de un rodal de pino radiata produce el mayor incremento en volumen por superficie al final de la rotación.

El efecto de la fertilización en la forma del árbol dependerá de la situación competitiva existente, y de la intensidad del raleo y fertilización. Mead (1976), citado por Barker (1978), detectó un aumento en el factor de forma de árboles de pino radiata producto de la fertilización post raleo. Will y Hodgkiss (1977) señalan que el factor de forma no aumenta, pero que la fertilización con nitrógeno mejora la forma del árbol.

Gessel et al. (1969), citados por Barker (1978), no detectaron cambios en el factor de forma de los árboles de pino radiata después de fertilizar con nitrógeno; sin embargo, Barker (1978) concluye que en un rodal denso de pino radiata, realizando un raleo fuerte y una fertilización con nitrógeno, se produce una compensación en la declinación del factor de forma causado por el raleo.

El crecimiento en altura no es influenciado significativamente por la fertilización post raleo, aunque algunos autores señalan diferencias porcentuales positivas con respecto a los testigo sin fertilizar (Crane, 1982; González et al., 1983; Duke et al., 1989). Duke et al. (1989) no detectaron diferencias significativas en el incremento en altura de los tratamientos fertilizados en pino oregón, aunque el rango de distribución de altura de los árboles remanentes es más homogéneo que en los no fertilizados.

La fertilización y raleo permite obtener mayores ingresos económicos que si se realizase cada uno en forma independiente (Crane, 1982). Duke et al. (1989) señalan que los beneficios económicos obtenidos de una fertilización post raleo en pino oregón dependerán de la intensidad del raleo, de los costos de aplicación de los nutrientes, de la cosecha, de la tasa de crecimiento de la especie y del producto que se obtendrá al final del período de rotación. Los beneficios serán mayores cuando se efectúe un raleo fuerte en conjunto con una aplicación alta de nutrientes, para obtener árboles de mayor valor.

Crane (1982) indica que en pino radiata los mayores beneficios se logran cuando la fertilización se realiza en el último raleo. Crane (1982) demostró que cuando la fertilización es realizada en el último y antepenúltimo raleo, sus dividendos monetarios son de un 18,6 % y 16,3 %, respectivamente, y es menor cuando la fertilización es aplicada en todos los raleos (cuatro) donde sus ganancias son solamente de un 8,8%. Esto se debe a un menor periodo de capitalización de los costos de aplicación de nutrientes, aunque el mayor volumen lo genere el fertilizado en todos los raleos. Miller y Fight (1979), citados por Crane (1982), exponen que los mayores beneficios económicos se logran cuando la fertilización se efectúa en el período final de crecimiento de un rodal, incorporando más madera y dándole un mayor valor a los árboles.

III MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El ensayo de fertilización post raleo se estableció en el año 1990 en un rodal de Pinus radiata D Don, ubicado a 65 km al sur de la ciudad de Los Angeles, por la ruta cinco sur, a orillas del río Renaico, VIII región, en el predio Laurel Poniente de propiedad de la empresa Forestal Mininco S.A.

El suelo en el área de estudio corresponde a un rojo-arcilloso de la serie Collipulli, de origen volcánico; el material parental altamente meteorizado, está formado principalmente por andesita y basalto (Tabla 1a). Es un suelo zonal, maduro, profundo y altamente meteorizado, de topografía ondulada. Su textura es arcillo-limoso en el horizonte superficial y arcillosa en el subsuelo; el pH fluctúa entre 5,6 y 5,4, siendo por lo tanto fuertemente ácido (Toro, 1985). Este suelo ha sido forestado como consecuencia de un constante proceso erosivo, provocado por un intenso e irracional cultivo agrícola que ha generado suelos decapitados, donde los horizontes genéticos superiores han desaparecido (González et al.,1983).

La información climática, proveniente de la estación meteorológica que la empresa mantiene en el vivero Malleco, 22 km al oeste del área de estudio, indica que la precipitación anual en 1990 fue de 1053,9 mm, con un promedio de 1265,1 mm para el período 1990-1994.

La temperatura media anual en 1990 fue de 11,8 °C, con una mínima media de 5,7 °C y una máxima media de 17,4 °C, y en promedio para el período 1990-1994, con una mínima media de 6,3 °C y una máxima media de 18,9 °C.

El rodal en el cual se instaló el ensayo de fertilización fue establecido en 1976 con una densidad de 1250 plantas por hectárea; el índice de sitio promedio determinado por la empresa es de 28 m (a una edad de 25 años). En el rodal se realizaron varias intervenciones silvícolas: en el año 1984 una primera poda a 4,5 m de altura, posteriormente se elevó la altura de poda a 6 m en 1985. El primer raleo (desecho) se efectuó en el año 1986 permaneciendo en el rodal un promedio de 468 arb/ha; y en Agosto de 1990, a la edad de 14-15 años, se realizó un segundo raleo (comercial) que eliminó el 50 por ciento del área basal, dejando en pie un promedio de 174 arb/ha.

3.2 Diseño del ensayo

El ensayo se estableció en Agosto de 1990, con un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. En cada bloque se distribuyeron aleatoriamente siete tratamientos y un testigo en parcelas de 35*35 m (1225 m²) (Figura 1).

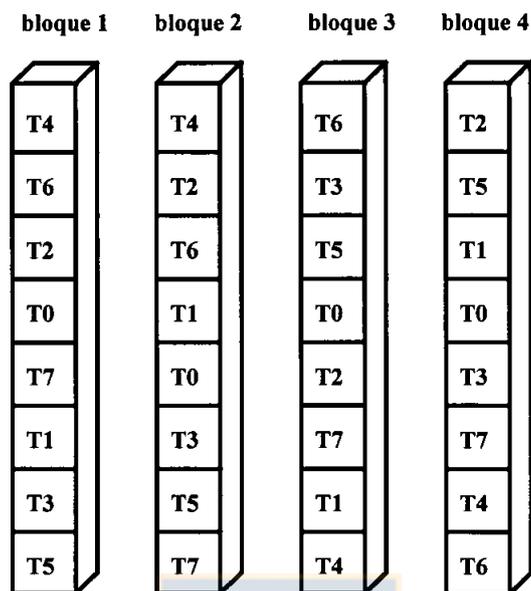


FIGURA 1. Diseño experimental del ensayo de fertilización post raleo.

3.3 Régimen de fertilización

Los tratamientos consistieron en la aplicación de distintos fertilizantes (solo o en combinación), un tratamiento sin fertilizar pero con remoción de los desechos y un control sin fertilizar (Tabla 1). Los fertilizantes (macro y micronutrientes) fueron aplicados en forma superficial (al voleo) entre 1,0 y 2,0 m alrededor del árbol.

TABLA 1. Descripción de los tratamientos en el ensayo.

Trat.	Dosis de fertilizante (nombre comercial)					Observación	Trat.	Dosis de fertilizante (elemento)				
	Urea (g/arb)	SFT (g/arb)	SK (g/arb)	BNC (g/arb)	SKMg (g/arb)			N (g/arb)	P (g/arb)	K (g/arb)	B (g/arb)	Mg (g/arb)
T0	---	---	---	---	---	Control con desechos	T0	---	---	---	---	---
T1	---	---	---	---	---	Sin desechos	T1	---	---	---	---	---
T2	200	---	---	---	---	Con desechos	T2	92	---	---	---	---
T3	400	---	---	---	---	Con desechos	T3	184	---	---	---	---
T4	400	150	---	---	---	Con desechos	T4	184	69	---	---	---
T5	300	100	200	30	---	Con desechos	T5	138	46	100	3	---
T6	300	100	---	30	200	Con desechos	T6	138	46	44	3	36
T7	---	100	---	---	200	Con desechos	T7	---	46	44	---	36

SFT: Super fosfato triple **SK:** Sulfato de Potasio **BNC:** Boronatro calcita **SKMg:** Sulfato de Potasio y Magnesio.

El nitrógeno fue aplicado en forma de urea (46 % N), el fósforo como superfosfatotriple (45 % P), el potasio a modo de sulfato de potasio (22 % P), el magnesio a manera de sulfato de magnesio (18 % Mg) y el boro como boronatrocalcita (10 % B). El tratamiento T0 fue designado como control, el cual se dejó sin intervenir, y en el T1 los desechos producto del raleo fueron extraídos de las parcelas. Al momento de la aplicación, no existía presencia de vegetación competitiva.

3.4 Variables medidas

La primera medición se realizó al establecer el ensayo en Agosto de 1990 y posteriormente en forma anual hasta 1994. En cada oportunidad se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total en todos los árboles de las

parcelas. Para la estimación del volumen de cada árbol medido se empleó la función general de volumen ajustada por Peters et al. (1985), que calcula el volumen del árbol completo sin corteza utilizando como variables el DAP, altura total y la clase de forma de Girard. La clase de forma de Girard se obtuvo del estudio de Peters et al. (1985).

$$V_{10} = 0.001881 + 0.000000349531d^2hf$$

Donde: V_{10} : Volumen cúbico al índice de utilización 10 cm (m_{ssc}^3).

d^2 : DAP (cm). h : Altura total (m). f : Clase de Forma de Girard.

Las características dasométricas iniciales de los tratamientos en cuanto a DAP, altura total, área basal y volumen se presentan en la Tabla 2. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas para las variables consideradas en el ensayo.

TABLA 2. Características dasométricas de los tratamientos al inicio del ensayo.

Tratamiento	Densidad (arb/ha)	Altura de poda (m)	DAP (cm)	Altura total (m)	Área basal (m ² /ha)	Volumen (m ³ /ha)
T0	233	5,6	20,43	16,65	7,65	43,33
T1	245	6,0	20,66	16,67	8,19	47,07
T2	235	5,8	21,85	17,58	8,72	52,19
T3	239	5,7	20,85	17,21	8,00	46,92
T4	208	6,1	21,74	17,30	7,66	45,41
T5	257	5,8	19,59	17,24	7,58	44,64
T6	214	5,7	20,86	17,58	7,12	43,10
T7	227	5,5	19,81	16,77	7,01	39,82

La respuesta a la fertilización en términos de crecimiento en dap, área basal, altura total y volumen del rodal se evaluó comparando los valores iniciales presentados en la Tabla 1 contra el incremento experimentado por los árboles en el período 1990 - 1994.

Las variables económicas que se utilizaron para el análisis de rentabilidad del estudio son los costos e ingresos para cada tratamiento. Los costos de los tratamientos fueron aportados por la empresa Forestal Mininco S. A. según sus estándares y los ingresos fueron calculados como el producto del incremento volumétrico (m^3/ha) obtenido de cada tratamiento, por el valor de la madera en pie ($US\$/m^3$) asignado por la empresa al rodal. Con estas variables se calculó el valor actual neto (VAN) con una tasa de descuento de un 10 %, para cada tratamiento.

3.5 Análisis de datos

Para la evaluación del crecimiento se empleó un análisis de covarianza para determinar diferencias significativas entre los tratamientos y la prueba de Bartlett para comprobar la homogeneidad de varianza (Steel y Torrie, 1989). El análisis de covarianza fue aplicado a las medias de las variables medidas en los tratamientos (Caballero, 1973) (Tabla 3).

TABLA 3. Variables medidas y sus correspondientes covariables.

Variable	Covariable
DAP (cm)	DAP (cm) inicial (1990)
Altura (m)	Altura (m) inicial (1990)
Area basal (m ² /ha)	Area basal total*Area basal por árbol inicial (1990)
Volumen (m ³ /ha)	Volumen (m ³ /ha) inicial (1990)
VAN (US\$/ha)	VAN(US\$/ha) inicial (1990)

US\$ = \$385 (año 1996)

Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS. Para la comparación  entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba F (SAS, 1985), cuando los efectos mostraron ser significativos ($p \leq 0,05$).

IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Crecimiento en diámetro

El incremento total después de cuatro años en todos los tratamientos no presentó diferencias significativas con respecto al testigo, pero sí entre los tratamientos fertilizados (Tabla 4 y Figura 2).

El incremento periódico anual en todos los tratamientos durante el período de estudio presentó una tasa anual de crecimiento promedio de 2,68 cm/año. Valor superior al incremento periódico que el rodal tenía antes del ensayo.

TABLA 4. Valores promedios de dap inicial (año 1990), final (año 1994), incrementos periodicos y porcentajes.

Tratamientos	DAP año 90 (cm)	DAP año 94 (cm)	Incremento periódico (cm)	Incremento periódico anual (cm)	% respecto del testigo
T0	20,43	31,13	10,83 ab	2,70	100,00
T1	20,66	30,60	9,97 a	2,49	92,06
T2	21,85	32,65	10,29 a	2,57	95,01
T3	20,85	32,17	11,26 b	2,81	103,97
T4	21,74	32,88	10,69 ab	2,67	98,70
T5	19,59	29,78	10,69 ab	2,67	98,70
T6	20,86	32,42	11,49 b	2,87	106,09
T7	19,81	30,23	10,82 ab	2,70	99,90

Medias ajustadas por análisis de covarianza usando el DAP (cm) de 1990 como covariable. Dentro de cada columna diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El tratamiento T3 (dosis de 400 g de urea/arb) presenta diferencias significativas con el T2 (dosis de 200 g de urea/arb) lo que podría deberse a que el nitrógeno aportado en T2 habría estimulado la actividad de los microorganismos en el suelo, produciéndose una inmovilización de este elemento y baja disponibilidad para las plantas (Binkley, 1993). Según lo expuesto anteriormente, esto podría evidenciar la importancia de la fertilización nitrogenada en este rodal.

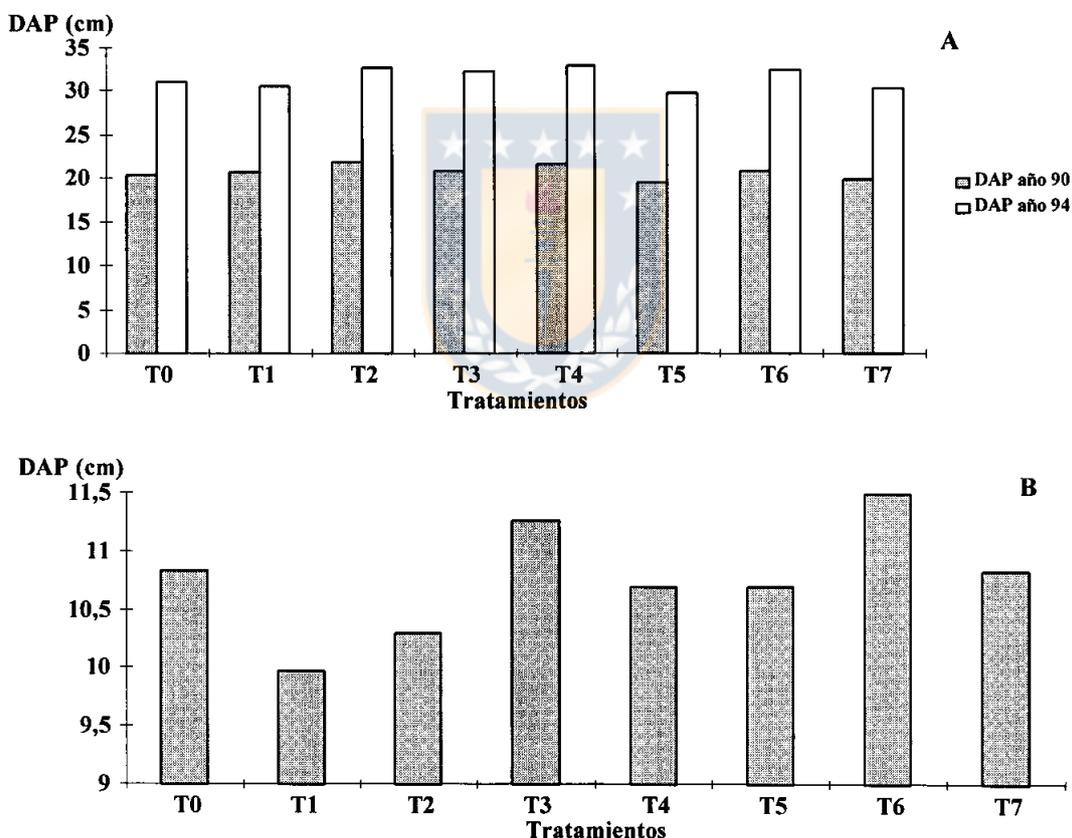


FIGURA 2. Valores de DAP acumulado (A) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del DAP (B) para cada tratamiento.

El tratamiento T3 (sólo dosis de N) en comparación con el T4 (dosis de N y P) muestra un mayor incremento porcentual en diámetro, lo que podría indicar un posible efecto del P sobre la mineralización del nitrógeno. Tisdale y Nelson (1966), citados por Guajardo (1988), señalan que la adición de nitrógeno y fósforo en suelos deficientes en este elemento, daría como resultado la inmovilización no sólo del fósforo inorgánico acumulado, sino también del nitrógeno añadido como fertilizante. La combinación N y P no favoreció el incremento total en DAP, lo que sugiere que el fósforo no sería un factor limitante para el crecimiento de este rodal.

Aunque no se detectó diferencias significativas, el incremento en diámetro es porcentualmente mayor en el tratamiento T6 que en el T5, pese a que ambos recibieron dosis de nutrientes similares; ello debido probablemente a la presencia del magnesio en T6, elemento que contribuye a la absorción del resto de los nutrientes (Binkley, 1993). Según González et al. (1983), los suelos de la serie Collipulli presentan deficiencias de este elemento.

4.2 Crecimiento en altura total

Al cabo de cuatro años de control no se detectaron diferencias significativas en el crecimiento en altura total con respecto al testigo (Figura 3 y Tabla 5).

TABLA 5. Valores promedios de altura inicial (año 1990), final (año 1994), incrementos y porcentajes.

Tratamientos	Altura año 90 (m)	Altura año 94 (m)	Incremento periódico (m)	Incremento periódico anual (m)	% respecto del testigo
T0	16,65	22,86	6,24 a	1,56	100,00
T1	16,67	22,59	5,96 a	1,49	95,51
T2	17,58	23,72	6,09 a	1,52	97,59
T3	17,21	23,08	5,86 a	1,47	93,91
T4	17,30	22,93	5,62 a	1,41	90,06
T5	17,24	22,81	5,55 a	1,39	88,94
T6	17,58	23,37	5,74 a	1,44	91,98
T7	16,77	22,84	6,10 a	1,53	97,75

Medias ajustadas por análisis de covarianza usando la altura total (m) de 1990 como covariable. Dentro de cada columna diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El incremento periódico anual en altura total en todos los tratamientos presentó un valor promedio de 1,47 m/año; valor superior al incremento periódico que el rodal tenía antes del ensayo.

Los resultados obtenidos en el análisis de la altura total, concuerdan con los encontrados por Crane (1982) y González et al. (1983), que señalan que la fertilización post raleo no produce efectos significativos en el crecimiento en altura.

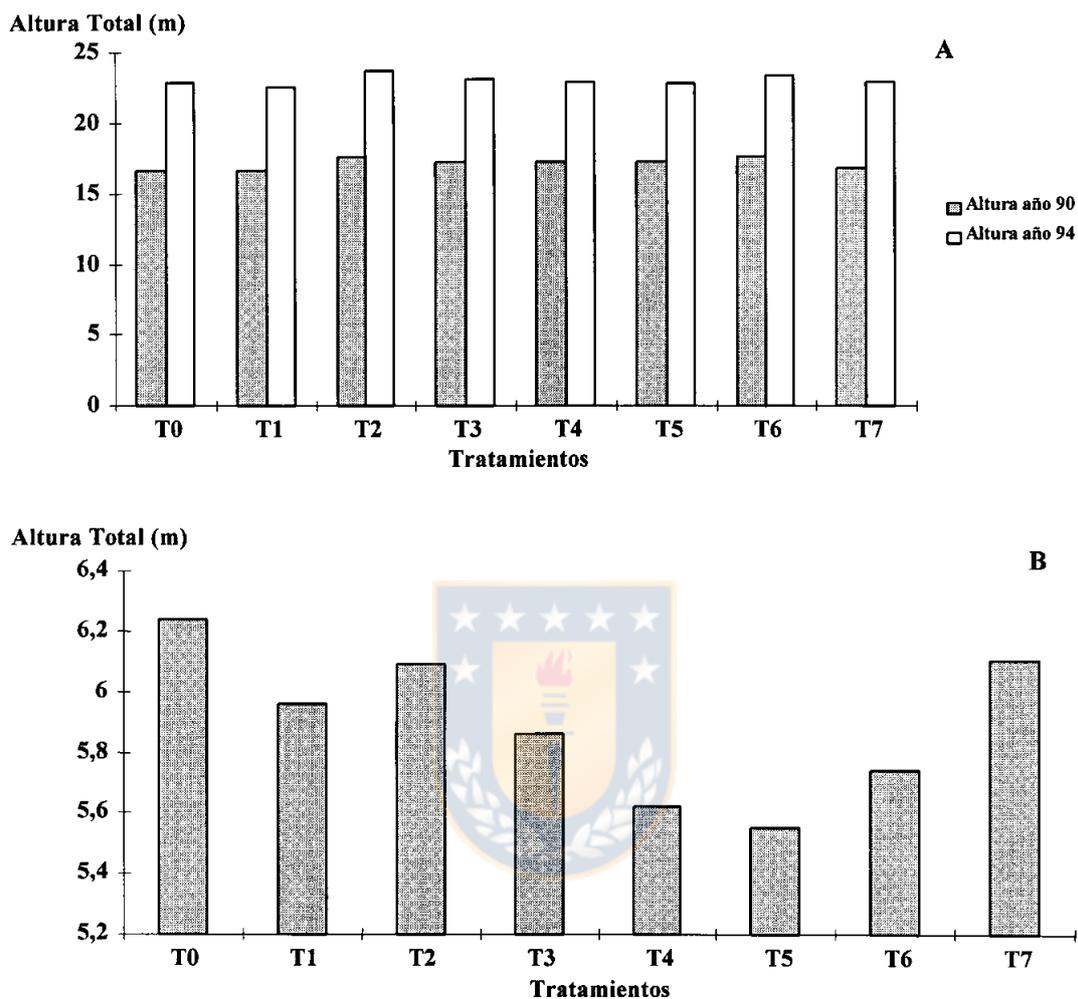


FIGURA 3. Valores de altura total acumulada (A) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico en altura total (B) para cada tratamiento.

4.3 Crecimiento en área basal

El análisis de covarianza (Tabla 1B) para el área basal total por hectárea al año 1994 no detectó efectos significativos de la fertilización en el crecimiento de los

árboles, pero si entre algunos de los tratamientos fertilizados y T1 (Tabla 6 y Figura 4).

TABLA 6. Valores promedios de area basal inicial (año 1990), final (año 1994), incrementos y porcentajes.

Tratamientos	A. Basal año 90 (m ² /ha)	A. Basal año 94 (m ² /ha)	Incremento periódico (m ² /ha)	Incremento periódico anual (m ² /ha)	% respecto del testigo
T0	7,65	17,74	10,25 bc	2,56	100,00
T1	8,19	17,79	9,38 a	2,35	91,51
T2	8,72	19,40	9,83 ab	2,46	95,90
T3	8,00	18,88	10,73 c	2,68	104,68
T4	7,66	17,43	9,42 a	2,36	91,90
T5	7,58	17,45	10,34 bc	2,59	100,87
T6	7,12	17,12	10,28 bc	2,57	100,29
T7	7,01	16,32	9,94 abc	2,49	96,97

Medias ajustadas por análisis de covarianza usando el área basal total* área basal por árbol de 1990 como covariable. Dentro de cada columna diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El testigo presenta diferencias significativas con el tratamiento T1, debido probablemente, como señala Binkley (1993), que la no remoción de los desechos en el rodal permite mantener el reciclado de nutrientes del sitio y un mayor contenido de humedad en el suelo. Según González (1995*) la mantención de los desechos trae como consecuencia una mayor absorción de boro y una tendencia del nitrógeno a lixiviarse. Además, la disponibilidad del

* Gastón González V. Ingeniero Agrónomo M. Sc. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. Comunicación personal.

fósforo es más dependiente de la presencia de micorrizas que la disponibilidad de éste en suelos de la serie Collipulli.

Los tratamientos T3 y T2 tienen dosis diferentes del mismo elemento (400 y 200 g de urea/arb, respectivamente), encontrándose que el incremento periódico en área basal del tratamiento T3 es significativamente superior que en el tratamiento T2, debido probablemente a que una cantidad menor de nitrógeno, sería fijado por los microorganismos del suelo.

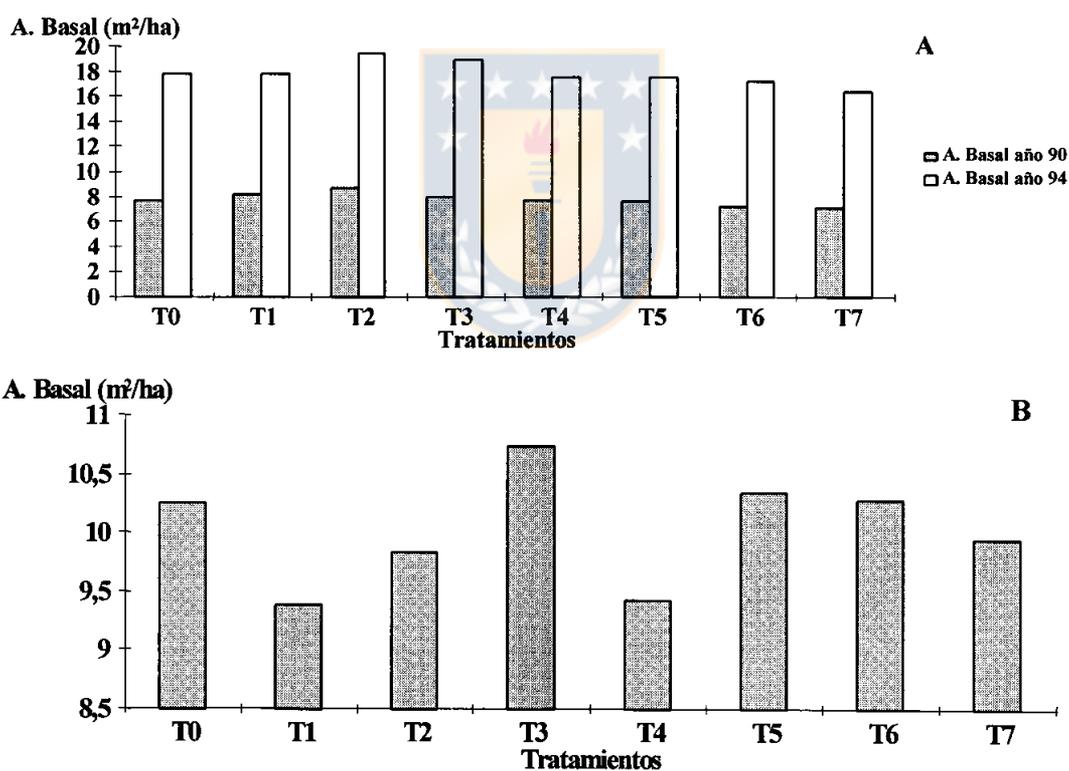


FIGURA 4. Valores de área basal acumulado (A) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del área basal (B) para cada tratamiento.

El tratamiento T3 (sólo dosis de N) además presenta diferencias significativas con T4 (dosis de N y P) y este último con el testigo. Según Tisdale y Nelson (1966), citados por Guajardo (1988), la adición de nitrógeno y fósforo en suelos deficientes en estos elementos, daría como resultado la inmovilización no sólo del fósforo inorgánico acumulado, sino también del nitrógeno añadido como fertilizante. Estos resultados revelan que la dosis de nitrógeno aplicado produce un efecto significativo en el crecimiento; y que el fósforo no es un nutriente limitante para el crecimiento de este rodal. Toro (1983) encontró que el fósforo no era un elemento limitante para el crecimiento de los árboles de pino radiata en suelos de la serie Collipulli.

La aplicación de nitrógeno en T3 produce el mayor efecto relativo sobre el crecimiento en área basal. Este resultado concuerda con lo señalado por Woollons y Will (1975), que encontraron que el mayor incremento periódico del área basal en rodales de pino radiata se debió a la aplicación sólo de nitrógeno y no a la combinación de nitrógeno y fósforo.

4.4 Crecimiento en volumen

Al cabo de cuatro años de aplicada la fertilización, el incremento total en volumen de los tratamientos fertilizados no presentó diferencias significativas con respecto al testigo. El tratamiento T1, en el cual se removieron los desechos, presentó efectos significativos en

el incremento volumétrico, con respecto al testigo y los tratamientos T3 y T6 (Tabla 7 y Figura 5).

TABLA 7. Valores promedios de volumen inicial (año 1990), final (año 1994), incrementos y porcentajes.

Tratamientos	Volumen año 90 (m ³ /ha)	Volumen año 94 (m ³ /ha)	Incremento periódico (m ³ /ha)	Incremento periódico anual (m ³ /ha)	% respecto del testigo
T0	43,33	136,72	96,44 b	24,11	100,00
T1	47,07	137,02	87,22 a	21,81	90,43
T2	52,19	155,25	92,45 ab	23,11	95,86
T3	46,92	146,72	97,31 b	24,33	100,90
T4	45,41	135,09	89,51 ab	22,38	92,81
T5	44,64	134,11	90,50 ab	22,63	93,84
T6	43,10	134,82	95,11 b	23,78	98,62
T7	39,82	125,21	93,85 ab	23,46	97,31

Medias ajustadas por análisis de covarianza usando el volumen (m³/ha) de 1990 como covariable. Dentro de cada columna diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El testigo presentó diferencias significativas con el tratamiento T1. Lo que indicaría que la mantención de los desechos en el rodal es importante para conservar el reciclaje de nutrientes y un mayor nivel de humedad en el suelo (Binkley, 1993).

Los valores obtenidos para el incremento total en volumen podrían presentar un sesgo, puesto que, como señala Mead (1994), la fertilización después del raleo puede afectar positivamente el factor de forma de los árboles y en consecuencia la estimación del valor de la madera en pie.

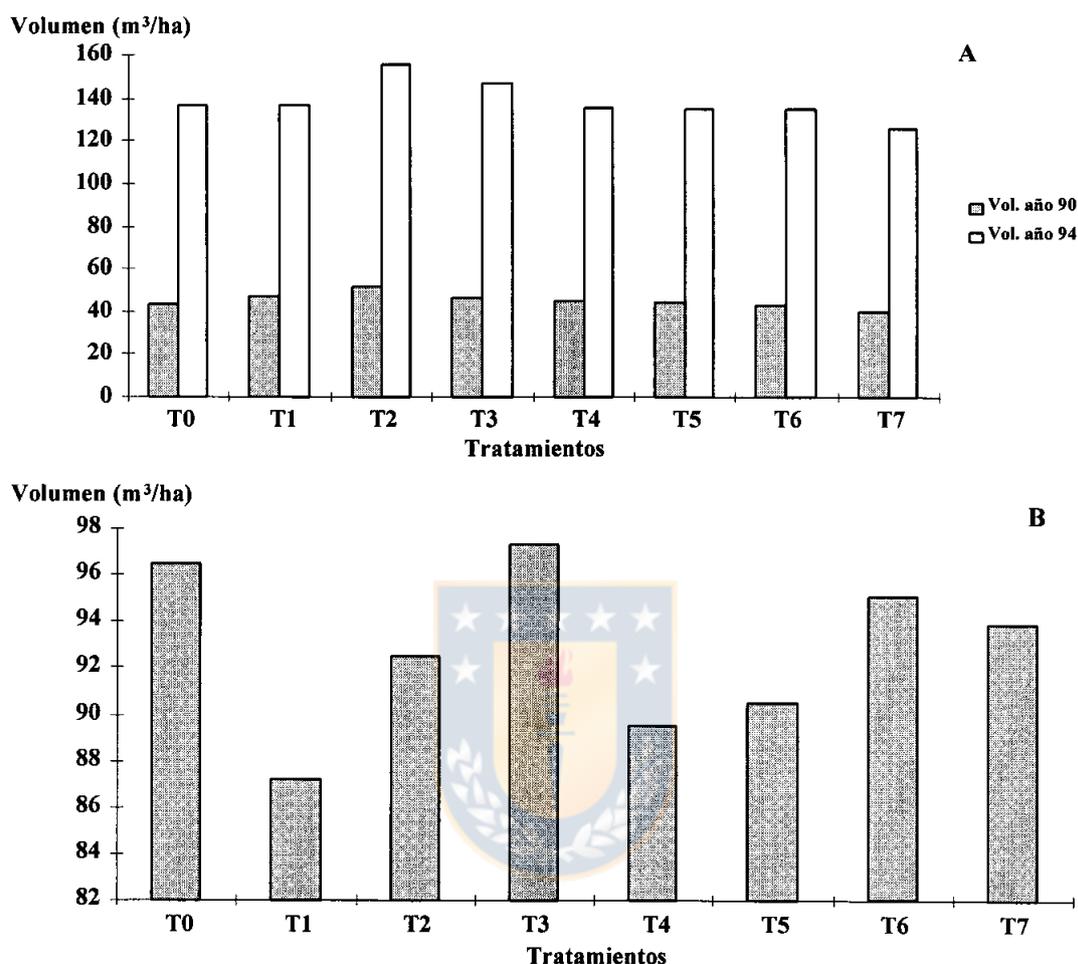


FIGURA 5. Valores de volumen acumulado (A) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del volumen (B) para cada tratamiento.

4.5 Rentabilidad de los tratamientos

Al cabo de cuatro años ningún tratamiento presentó diferencias significativas con respecto al control en el incremento del valor actual neto (VAN) con respecto al testigo (Tabla 8 y Figura 6).

TABLA 8. Valores promedios de valor actual neto inicial (1990), final (1994), incrementos y porcentajes.

Tratamientos	VAN año 90 (US\$/ha)	VAN año 90 (US\$/ha)	Incremento periódico VAN (US\$/ha)	Incremento periódico anual VAN (US\$/ha)	% respecto del testigo
T1	376,55	802,29	438,41 a	109,60	100,00
T0	409,08	813,27	392,90 a	98,20	89,61
T2	453,50	904,34	406,82 a	101,71	92,79
T3	407,74	850,04	431,99 a	108,00	98,53
T4	394,65	778,11	382,80 a	95,70	87,31
T5	387,95	771,26	387,59 a	96,90	88,40
T6	374,57	774,37	413,93 a	103,48	94,41
T7	346,06	728,66	417,75 a	104,44	95,28

Medias ajustadas por análisis de covarianza usando el VAN (US\$/ha) de 1990 como covariable. Dentro de cada columna diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El mayor incremento periódico en VAN lo presenta el testigo, siendo superior entre un 2 y 11 % al resto de los tratamientos. Esto indica que la tasa de crecimiento obtenida por los tratamientos fertilizados es insuficiente para cancelar los costos de la aplicación de nutrientes. El costo de todos los tratamientos alcanza un valor promedio de 80,16 US\$/ha, valor que requiere un incremento periódico en volumen de 3,55 m³/ha (3,7 %) sobre el testigo solamente para igualar los costos. Estos resultados indicarían que para el período de estudio considerado, la fertilización post raleo no es rentable en este rodal.

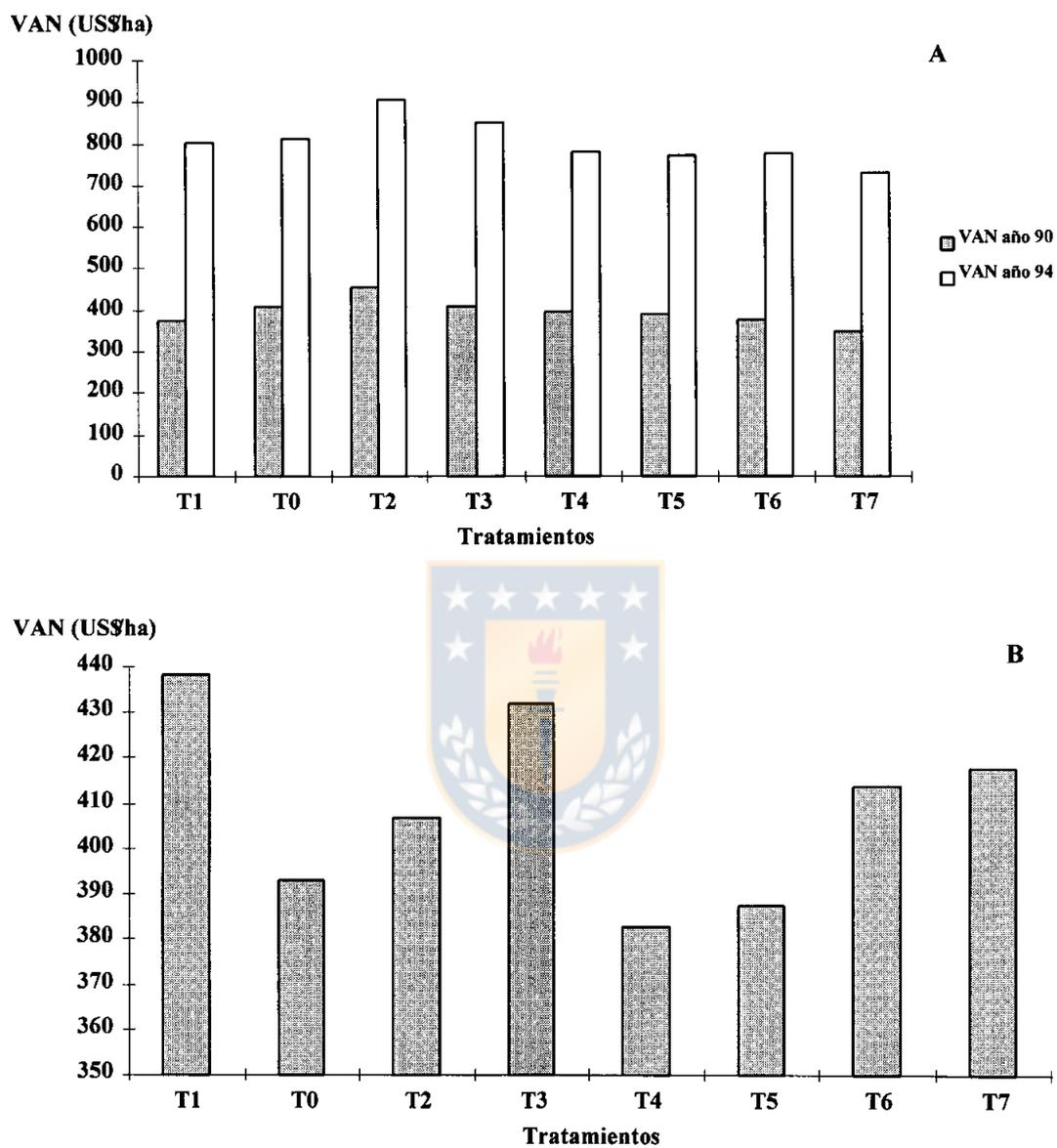
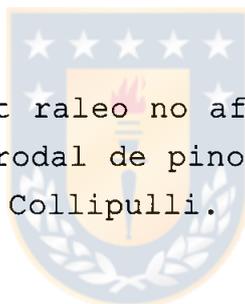


FIGURA 6. Estimaciones del Valor Actual Neto acumulado (A) en el año 1990 y 1994 e incremento periódico del valor actual neto (B) para cada tratamiento.

V CONCLUSIONES

- a) La fertilización post raleo no afectó significativamente ($p \leq 0,05$) el crecimiento de un rodal de pino radiata creciendo en un suelo rojo-arcilloso de la serie Collipulli.
- b) La mantención de los desechos de cosecha en el piso del bosque afectó significativamente el crecimiento de un rodal de pino radiata cultivado en un suelo de la serie Collipulli.
- c) La fertilización post raleo no afectó significativamente la rentabilidad del rodal de pino radiata establecido en un suelo de la serie Collipulli.



VI RESUMEN

Se evaluó un ensayo de fertilización post raleo comercial en un rodal de pino radiata de 14 años, ubicado a 65 km al sur de la ciudad de los Angeles, VIII región establecido sobre un suelo de la serie Collipulli. Se aplicaron diferentes fertilizantes (macros y micronutrientes), solos o en combinación, con el objetivo de evaluar su efecto sobre el crecimiento y rentabilidad del rodal. Además del testigo sin intervenir, se incluyó un tratamiento sin fertilizar, en el cual se removieron los desechos acumulados en el piso del bosque.

Cuatro años después de aplicado el raleo y la fertilización se evaluó el incremento total en DAP, altura total, área basal, volumen y valor actual neto (VAN).

La evaluación de estas variables demostró que no existen efectos significativos de la fertilización post raleo sobre el crecimiento del rodal de pino radiata; además evidenció que la mantención de los desechos es significativo en el crecimiento y que la fertilización post raleo no resulta rentable bajo las condiciones del estudio.

SUMMARY

A post thinning fertilization trial was evaluated in a 14 year-old *Pinus radiata* plantation, located 65 km south of city of Los Angeles, VIII region, Chile. Several fertilizers (macro and micronutrients) were applied, alone or in combination, to evaluate the effects of them on growth and profitability of the stand. Beside the fertilizer treatments, there were two control, without fertilizers, but in one of them the slash was removed.

The trial was measured four years after applying the treatments. The response variables were DBH and height of the trees, using those variables to calculate basal area, volume and current net value.

The results show that fertilization after thinning did not have significant effects on radiata pine growing. It also evidences that removing the slash had a negative effects on growth and that post thinning fertilization is not profitable under the study conditions.

VII BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ, J. 1994. Resumen de la visita del Sr. Donald Mead a Chile. Fertilización en pino radiata. Departamento de establecimiento de plantaciones. Forestal Mininco S. A. Sin editar. 15 pp.
2. ARTEAGA, B. y ETCHEVERS, J. 1986. Pinus radiata en México y el mundo. Talleres gráficos del colegio de Postgraduados. México. 88 pp.
3. BARKER, J. 1978. Some silvicultural effects of fertilization. New Zealand Journal of Forestry Science 8 (1): 160-177.
4. BINKLEY, D. 1986. Forest nutrition management. A Wiley-Interscience publication. United State of America. 290 pp.
5. BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Prácticas de manejo. Limusa. México. 340 pp.
6. CABALLERO, M. 1973. Estadística práctica para dasónomos. Talleres gráficos de la Nación. México. 199 pp.

7. CRANE, W. J. 1982. Fertiliser treatment of pinus radiata at establishment and at thinning and evaluation of its potential effects in Australia. New Zealand Journal of Forestry Science 12 (2): 293-307.
8. DOMINGUEZ, A. 1984. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. 585 pp.
9. DUKE, K.; TOWNSEND, G. and WHITE, W. 1989. An economic analysis of fertilisation and thinning effects on Douglas-fir stands at Shawnigan Lake. Forestry Canada. 19 pp.
10. GONZALEZ, G.; GONZALEZ, C.; MILLAN, J. y ESCOBAR, R. 1983. Estudio de fertilización en plantaciones de Pinus radiata; primeros resultados. Documento de trabajo N° 51, Corporación Nacional Forestal, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile. 159 pp.
11. GROOT, A.; BROWN, K.; MORRISON, I. and BAKER, J. 1983. A 10-year tree and stand response of jack pine to urea fertilization and low thinning. Canadian Journal of Forestry Research 14: 44-50.

12. GUAJARDO, M. 1988. Evaluación de los efectos de fertilización con nitrógeno y fósforo después de 8 años, en plantaciones de Pinus radiata D. Don, en el sector costero de la VII región. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 167 pp.
13. MEAD, D. 1974. Response of radiata pine to superphosphate and Christmas Island "C" phosphate fertilizers. New Zealand Journal of Forestry Science 4: 35-38.
14. MEAD, D. and GADGIL, R. 1978. Fertilizer use in established radiata pine stands in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 8(1): 105-134.
15. NUÑEZ, M. 1987. Análisis dasométrico de dos ensayos de fertilización nitrogenada en Pinus radiata D. Don. Estudio preliminar. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Agronómicas Veterinarias y Forestales. Departamento de Ciencias Forestales. Chillán, Chile. 57 pp.
16. PETERS, R; JOBET, M. y AGUIRRE, S. 1985. Compendio de tablas auxiliares para el manejo de plantaciones de Pino Insigne. Manual n° 14. INFOR. Santiago, Chile. 140 pp.

17. SAS INSTITUTE INC. 1985. SAS® User' s guide statistics, version edition 5. Cary, NC: SAS Institute Inc. 956 pp.
18. STEEL, R. y TORRIE, J. 1989. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mc Graw-Hill. México. 622 pp.
19. TORO, J. 1983. Fertilización forestal en escala operacional. Forestal Río Vergara S.A. Sin editar. 65 pp.
20. TORO, J. 1985. Incremento de la productividad de las plantaciones de Forvesa. Forestal Río Vergara S.A. Sin editar. 65 pp.
21. TORO, J. 1992. Proyecto suelos y nutrición forestal. Forestal Río Vergara. Sin editar. 30 pp.
22. WILL, G. and HODGKISS, P. 1977. Influence of nitrogen and phosphorus stresses on the growth and form of radiata pine. New Zealand Journal of Forestry Science 7(3): 307-320.
23. WOOLLONS, R. and WILL, G. 1975. Increasing growth in high production radiata pine stands by nitrogen fertilisers. New Zealand Journal of Forestry Science 2: 243-253.

24. WOOLLONS, R.; WHYTE, G. and MEAD, D. 1988. Long-term growth responses in *pinus radiata*. Fertilizer experiments. *New Zealand Journal of Forestry Science* 18(2): 199-209.



VIII ANEXO

TABLA 1A. Descripción de la serie de suelo Collipulli
(Fuente: González et al., 1983).

Ubicación : A 7 km al norte de Collipulli; ocupa un área que se extiende desde la provincia de Talca hasta el norte de la Provincia de Cautín.

Geomorfología y topografía : Suelo de Posición intermedia, montañoso, plano depositacional, no glacial.

Material de origen : conglomerado volcánico altamente descompuesto de andesita y basalto.

Pluviometría : 1200 a 1500 mm.

Drenaje : Externo, rápido; interno, medio.

Erosión : Altamente erosionado.

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas del perfil
0-18	Pardo rojizo oscuro en húmedo, 5 YR 3/3; pardo oscuro en seco, 7,5 YR 4/4; textura arcillosa limosa; estructura granular gruesa, media a fina a bloques subangulares medios y finos, moderados; duro en seco, friable en húmedo; plástico adhesivo; raíces finas y abundantes, raíces medias comunes; presenta fisuras verticales y horizontales; lombrices escasas; moderada digestión del agua oxigenada; pH 5,6; límite inferior difuso.
18-66	Pardo rojizo oscuro en húmedo, 3,5 YR 3/3; pardo oscuro en seco, 7,5 YR 5/4; textura arcillosa; estructura prismática y media, moderada a bloques angulares y subangulares medios y finos, moderados; duro en seco, firme en húmedo; raíces finas comunes; poros finos y medios, escasos; cerosidad en la cara externa de los agregados y en los poros; ligera efervescencia al agua oxigenada; pH 5,4; límite inferior difuso.

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas del perfil
66-190	Pardo rojizo oscuro en húmedo, 2,5 YR 3/4; pardo oscuro en seco, 7,5 YR 5/4; textura arcillosa limosa; estructura de bloques angulares y subangulares gruesos, medios y finos, moderados; friable, raíces finas escasas; poros finos comunes; cerosidades abundantes en cara externa de los agregados y poros; ligera efervescencia al agua oxigenada, pH 5,4; límite inferior difuso.
190-240	Rojo oscuro en húmedo, 2,5 YR 3/6; pardo oscuro en seco, 7,5 YR 4/4; textura arcillosa limosa; estructura de bloques angulares y subangulares medios y finos moderados; raíces finas escasas, ligera efervescencia al agua oxigenada; pH 5,4; límite inferior abrupto ondulado.
>240	Conglomerado volcánico altamente descompuesto en andesita y basalto.

TABLA 2A. Análisis Químico y Físico de los Suelos del predio Laurel Poniente.

Profundidad (cm)	Textura	Densidad Aparente (g/cc)	Agua Aprovechable %	pH	Materia orgánica %	N total %	N Disponible ppm	Fósforo Disponible ppm	Capacidad Int. Cat (meq/100g)
0-30	Ar	1,30	6,8	5,4	2,6	0,10	16,6	4,2	40,1
30-60	Ar	1,30	7,3	5,0	1,7	0,08	10,5	9,1	41,8
60-100	Ar	1,32	7,9	5,0	1,2	0,07	13,2	7,2	40,3

IX APENDICE

TABLA 1B. Análisis de covarianza para la variable incremento en área basal (salida del programa SAS).

Información de clases y niveles

Clases	Niveles	Valores							
BLOQUE	4	1	2	3	4				
TRAT	8	1	2	3	4	5	6	7	8

Número de observaciones = 32

Variable Dependiente: Incremento en área basal

Fuente de Variación	g.l.	Suma de cuadrados	Medias de Cuadrados	F Valor	Pr > F
Modelo	11	49,41616045	4,49237822	13,85	0,0001
Error	20	6,48663643	0,32433182		
Corregido	31	55,90279687			
Total					

Variable Dependiente: Incremento en área basal

Fuente de Variación	g.l.	Suma de cuadrados	Medias de cuadrados	F Valor	Pr > F
Bloque	3	9,03186811	3,1062270	9,28	0,0005
Trat	7	5,85824916	0,83689274	2,58	0,0455
A.B.*aba	1	15,08050420	15,08050420	46,50	0,0001

Medias de mínimos cuadrados

Pr > |T| H0: LSMEAN(i)=LSMEAN(j)

Variable Dependiente: Incremento en área basal

i/j	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
T0	.	0,0461	0,3438	0,2462	0,0572	0,8245	0,9386	0,4611
T1	0,0461	.	0,2907	0,0032	0,9258	0,0322	0,0406	0,2007
T2	0,3438	0,2907	.	0,0425	0,3282	0,2698	0,3161	0,8133
T3	0,2462	0,0032	0,0425	.	0,0040	0,3523	0,2798	0,0734
T4	0,0572	0,9258	0,3282	0,0040	.	0,0410	0,0508	0,2381
T5	0,8245	0,0322	0,2698	0,3523	0,0410	.	0,8841	0,3356
T6	0,9386	0,0406	0,3161	0,2798	0,0508	0,8841	.	0,4144
T7	0,4611	0,2007	0,8133	0,0734	0,2381	0,3356	0,4144	.