

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO SILVICULTURA

EFECTO DEL ESPACIAMIENTO Y ARREGLO DE PLANTACION
SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL (TRES AÑOS) DE
Eucalyptus nitens (Deane et Maiden) EN SUELO TRUMAO".



JUAN PABLO JOBET PRADO

MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE
1996

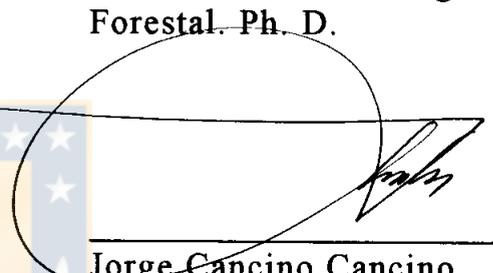
EFFECTO DEL ESPACIAMIENTO Y ARREGLO DE PLANTACION
SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL (TRES AÑOS) DE
Eucalyptus nitens (Deane et Maiden) EN SUELO TRUMAO".

Profesor Asesor



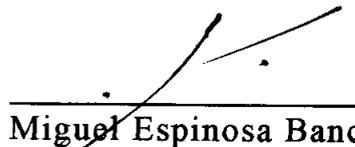
Miguel Espinosa Bancalari.
Profesor Asociado. Ingeniero
Forestal. Ph. D.

Profesor Asesor



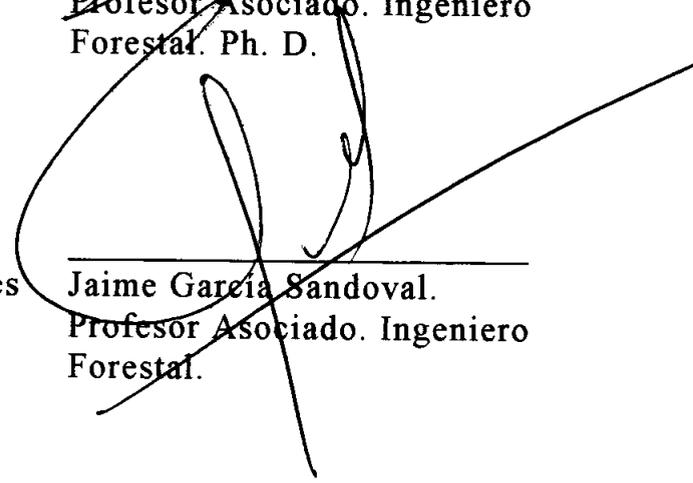
Jorge Cancino Cancino.
Profesor Asistente. Ingeniero
Forestal. M. Sc.

Director Departamento Silvicultura



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

Decano Facultad de Ciencias Forestales



Jaime García Sandoval.
Profesor Asociado. Ingeniero
Forestal.

A MI ESPOSA,
ANDREA.
A MIS PADRES,
VIVIANA Y EMILIO.



AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta sus agradecimientos a los señores: Octavio Larrain M., Gerente General de Forestal Angol Ltda., por la oportunidad de llevar a cabo este trabajo de investigación, Eduardo Moncada M., Coordinador de Operaciones de Forestal Angol Ltda., por su colaboración en el establecimiento y manejo del ensayo de espaciamiento en el predio las Acacias, a Luis Apiolasa Z. y Eduardo Morales M., Consultores Cooperativa de mejoramiento Genético, por su valiosa colaboración en el análisis de la información del estudio.

Asimismo, desea hacer extensivo estos agradecimientos a los señores Profesores de la Universidad de Concepción, Miguel Espinosa B. y Jorge Cancino C., por sus valiosas contribuciones en la conclusión del presente trabajo.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION.	1
II	OBJETIVOS.	2
	2.1 Objetivo general.	2
	2.2 Objetivos específicos.	2
III	REVISION BIBLIOGRAFICA.	4
	3.1 Antecedentes generales.	4
	3.2 Efectos del espaciamiento sobre los parámetros de rodal.	5
	3.2.1 Mortalidad.	5
	3.2.2 Altura.	6
	3.2.3 Diámetro.	6
	3.2.4 Area basal.	8
	3.2.5 Volumen.	10
	3.3 Espacio de crecimiento.	11
	3.3.1 Arreglo cuadrado.	12
	3.3.2 Arreglo triangular.	13
IV	MATERIALES Y METODO.	15
	4.1 Descripción del lugar del ensayo.	15

4.2	Diseño experimental.	15
4.3	Establecimiento y material experimental del ensayo.	16
4.4	Descripción de los tratamientos.	16
4.5	Toma de la muestra y variables medidas.	17
4.6	Análisis estadístico.	17
4.6.1	Análisis para determinar el efecto del errglo y espaciamiento de plantación.	17
4.6.2	Análisis de comparaciones múltiples.	18
4.7	Análisis del efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables.	19
4.8	Relaciones analizadas.	20
V	RESULTADOS Y DISCUSION.	22
5.1	Resultados obtenidos para cada variable de estado de rodal en cada combinación entre los factores arreglo y espaciamiento de plantación.	22
5.2	Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las variables de estado del rodal.	23
5.3	Efecto del espaciamiento de plantación sobre las variables de estado de rodal.	23
5.3.1	Efecto del espaciamiento sobre el diámetro de cuello promedio.	24

5.3.2 Efecto del espaciamiento sobre la altura promedio.	24
5.3.3 Efecto del espaciamiento sobre el área de proyección de copa promedio por hectárea.	27
5.3.4 Efecto del espaciamiento sobre el volumen promedio por árbol.	28
5.3.5 Efecto del espaciamiento sobre el volumen por hectárea.	28
5.3.6 Efecto del espaciamiento sobre la sección basal por árbol.	30
5.3.7 Efecto del espaciamiento sobre la sección basal por hectárea.	30
5.4 Efecto de la interacción entre arreglo y espaciamiento de plantación sobre las variables de estado de rodal.	31
5.4.1 Efecto de la interacción entre arreglo y espaciamiento de plantación sobre el diámetro de copa.	32
5.4.2 Efecto de la interacción entre arreglo y espaciamiento de plantación sobre el área de proyección de copa por árbol.	34
5.5 Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables.	36

	5.5.1 Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables no asociadas a los tratamientos.	36
	5.5.1.1 Relación altura-diámetro de cuello.	36
	5.5.1.2 Relación diámetro de copa-diámetro de cuello.	39
	5.5.1.3 Relación volumen-diámetro de copa.	41
	5.5.2 Relaciones entre altura, diámetro de cuello y volumen con variables asociadas a los tratamientos.	42
VI	CONCLUSIONES.	48
VII	RESUMEN.	51
	SUMMARY.	52
VIII	LITERATURA CITADA.	53
IX	ANEXOS.	56
	9.1 Anexo 1.	56
	9.1.1 Descripción del lugar del ensayo.	56
	9.1.1.1 Antecedentes generales.	56
	9.1.1.2 Topografía.	56
	9.1.2 Descripción del perfil.	57
	9.1.2.1 Hojarasca.	57
	9.1.2.2 Suelo mineral.	57
	9.1.2.3 Estatus nutricional.	59

9.2 Anexo 2.	59
9.2.1 Antecedentes generales.	59
9.2.2 Régimen de temperatura.	60
9.2.2.1 Extremas anuales.	60
9.2.2.2 Variación anual de temperatura.	60
9.2.3 Régimen de precipitación.	61
9.2.3.1 Extremas anuales.	61
9.2.3.2 Distribución anual de la precipitación.	61



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Efecto de la densidad del rodal en el diámetro del árbol medio en plantaciones de <u>E. regnans</u> de 13,5 años de edad (Fuente : Cremer et al. 1984).	9
2	Efecto de la densidad del rodal sobre el volumen del rodal en plantaciones de <u>E. regnans</u> de 13,5 años de edad (Fuente : Cremer et al. 1984).	11
3	Esquema de arreglo de plantación cuadrado (a) y triangular (b).	12
4	Croquis del diseño experimental, de la parcela principal donde se asignó el arreglo y de la subparcela donde se asignó espaciamiento.	18
5	Relación entre diámetro de cuello y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad	26
6	Relación entre altura y densidad de rodal en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	26
7	Relación entre área de proyección de copa por hectárea y densidad de rodal para <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	27

8	Resultados del ajuste del modelo lineal a la relación diámetro de copa-diámetro de cuello, dentro de cada espaciamento en cada arreglo de plantación, para todos los datos dentro de cada arreglo y de un ajuste global con los datos de todas las combinaciones de arreglo y espaciamento.	43
9	Resultados del ajuste del modelo lineal a la relación volumen-diámetro de copa, dentro de cada espaciamento en cada arreglo de plantación, para todos los datos dentro de cada arreglo y de un ajuste global con los datos de todas las combinaciones de arreglo y espaciamento de plantación.	45
10	Relaciones cuya variable independiente está incluida en los tratamientos.	46
11	Modelos seleccionados, sus coeficientes y parámetros, para cada relación dentro de cada arreglo de plantación.	47
<u>En los anexos</u>		
1A	Espesor, tipo de material, estructura, arraigamiento y aspecto del horizonte orgánico.	57
2A	Contenido de raíces, estructura, consistencia, textura, esqueleto, color y contenido de humus en cada horizonte de suelo mineral.	57
3A	Moteado, concreciones, actividad biológica u otros en cada horizonte mineral.	58
4A	Análisis químico del horizonte A1.	59

1B	Temperaturas extremas y mes de ocurrencia.	60
2B	Extremas en régimen de precipitación y mes de ocurrencia.	61



INDICE DE TABLAS

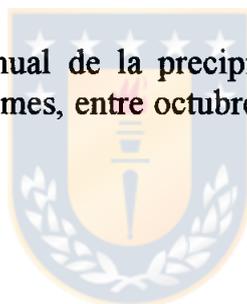
TABLA N°	<u>En el texto</u>	PAGINA
1	Descripción de los tratamientos según la combinación de niveles de cada factor.	21
2	Promedios obtenidos con cada tratamiento para cada variable de estado de rodal.	22
3	Efecto del espaciamiento, arreglo de plantación e interacción entre espaciamiento y arreglo sobre las variables de estado de rodal.	23
4	Promedios obtenidos en cada variable afectada por espaciamiento de plantación.	25
5	Diámetro de copa en cada nivel de espaciamiento para cada arreglo de plantación.	33
6	Area de proyección de copa promedio por árbol en cada espaciamiento para cada arreglo de plantación.	35
7	Resultados del ajuste del modelo lineal a la relación altura-diámetro de cuello, dentro de cada espaciamiento en cada arreglo de plantación, para todos los datos dentro de cada arreglo y de un ajuste global con los datos de todas las combinaciones de arreglo y espaciamiento de plantación.	38

8	Relación entre volumen por árbol y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	28
9	Relación entre volumen por hectárea (D^2H) y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	29
10	Relación entre sección basal por árbol y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	31
11	Relación entre sección basal por hectárea y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	32
12	Relación entre diámetro de copa y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad.	33
13	Relación entre área de proyección de copa por árbol y densidad de rodal, en <u>E. nitens</u> de tres años de edad	35
14	Representación de la función logarítmica ajustada para la relación entre altura y diámetro de cuello, para cada arreglo de plantación.	37
15	Variación del cociente entre altura y diámetro de cuello con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación.	39
16	Representación de la función lineal ajustada para la relación entre diámetro de copa y diámetro de cuello, para cada arreglo de plantación.	40
17	Variación del cociente entre diámetro de copa y diámetro de cuello con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación.	41

- 18 Representación de la función lineal ajustada para la relación entre volumen y diámetro de copa, para cada arreglo de plantación. 42
- 19 Variación del cuociente entre diámetro de copa y volumen con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación. 44

En los anexos

- 1B Variación mensual de los promedios de temperatura máxima, mínima y promedio mensual entre octubre de 1992 y marzo de 1995. 60
- 2B Distribución anual de la precipitación expresada en milímetros por mes, entre octubre de 1992 y marzo de 1995. 61



I INTRODUCCION

La masificación en las plantaciones de Eucalyptus observada en Chile en los últimos años, de preferencia en suelos de clase de capacidad de uso III y IV, ha causado una gran intensificación del cultivo de estos bosques, la que persigue lograr aumentos significativos en productividad y disminuciones substanciales en las edades de rotación. Estos objetivos han dado un fuerte impulso a la investigación forestal en especies del género Eucalyptus, el cual se ha manifestado en importantes esfuerzos en mejoramiento genético, producción de plantas, establecimiento y manejo de plantaciones, entre otros.

La tasa de crecimiento potencial de Eucalyptus spp. y de otras especies está determinada genéticamente, pero el logro de este potencial depende de factores climáticos, características de sitio y manejo silvícola (Cromer, 1993). De esta manera, el manejo silvícola, y más específicamente, el espaciamiento entre árboles, es un factor particularmente importante que debe ser investigado. Según Daniel et al. (1979), el espaciamiento es el segundo factor en importancia en determinar la productividad del sitio, lo que lo convierte en un factor estratégico para el silvicultor. En este estudio se analiza el efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre el crecimiento inicial de una plantación de Eucalyptus nitens.

II OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el efecto del espaciamiento y del arreglo de plantación sobre variables de estado de rodal y sus interrelaciones en una plantación de Eucalyptus nitens a los tres años de edad.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Determinar el efecto del espaciamiento de plantación sobre el crecimiento en diámetro, altura total, área de proyección de copa, área basal por árbol, área basal por hectárea, volumen por árbol y volumen por hectárea en una plantación de E. nitens a los tres años de edad.

2.2.2 Determinar el efecto del arreglo de plantación sobre el crecimiento en diámetro, altura total, área de proyección de copa, área basal por árbol, área basal por hectárea, volumen por árbol y volumen por hectárea, en una plantación de E. nitens a los tres años de edad.

2.2.3 Determinar el efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones siguientes:

- a. $H = f (D)$ donde : H : Altura
- b. $H = f (N)$ D : Diámetro de cuello
- c. $DC = f (D)$ N : N° árboles / ha

d. $D = f (N)$

DC : Diámetro de copa

e. $D = f (E)$

E : Espaciamiento

f. $V = f (N)$

V : $D^2 H$ (estimación de biomasa)

g. $V = f (E)$

h. $V = f (DC)$

2.2.4 Determinar el efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las razones :

a. Altura / diámetro de cuello

b. Diámetro de copa / diámetro de cuello

c. Diámetro de copa / volumen



III REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1 Antecedentes generales

Cada árbol tiene una cantidad definida de espacio de crecimiento. Este espacio de crecimiento es referido al área ocupada por cada árbol, expresado por la distancia existente entre los individuos de un rodal, y es inversamente proporcional al número de árboles por hectárea (Assmann, 1970).

El arreglo inicial de una plantación es usualmente cuadrado o rectangular, y es expresado como distancia entre hileras y sobre la hilera. El espaciamiento determina la densidad. La densidad del rodal comúnmente se describe como número de árboles por hectárea (árboles/ha), y la medida más común de ésta es el área basal/ha, que corresponde a las sumas de las secciones transversales de los fustes a la altura del pecho (1,3 m) (Schönau y Coetzee, 1989).

El espaciamiento óptimo para una especie y objetivo de producción depende del clima, calidad de sitio, objetivo de manejo, técnica silvicultural, método de cosecha y longitud de la rotación, ejerciendo así influencia sobre el volumen, rectitud del fuste y diámetro de ramas (Schönau y Coetzee, 1989).

Uno de los factores directamente afectados por el espaciamiento es la competencia entre árboles individuales. Al momento del establecimiento de la plantación la competencia prácticamente no existe. A medida que los árboles crecen, sus sistemas radiculares y sus copas comienzan a influirse unos a otros debido a que el espacio de crecimiento es limitado por la superficie de suelo disponible. Como resultado, la competencia se intensifica por los elementos que son escasos, tales como agua, nutrientes y luz. En general, los árboles compiten por espacio (Assmann, 1970 ; Schönau y Coetzee, 1989).

3.2 Efectos del espaciamiento sobre los parámetros de rodal

3.2.1 Mortalidad. Bajo competencia, muchos árboles continúan creciendo a tasas elevadas, llegando a ser más grandes los miembros más dominantes del rodal, mientras que otros sucumben a la competencia, convirtiéndose en suprimidos, pudiendo eventualmente morir, resultando en una pérdida de la producción neta. Debido al incremento de la diferenciación entre clases de copa a medida que la edad aumenta, puede esperarse que la mortalidad por supresión, y consecuentemente por el suministro inadecuado de nutrientes y luz, aumente con la edad del rodal. Lo anterior podría ser más severo en rodales más densos que en aquellos ampliamente espaciados (Assmann, 1970 ; Schönau y Coetzee, 1989; Van Laar, 1982).

La densidad de los rodales y la mortalidad asociada son parámetros claramente importantes cuando se quiere predecir biomasa a

espaciamientos cerrados (Cristie y Button, 1991).

3.2.2 Altura. Para los Eucalyptus, Opie et al. (1984) señalan que una reducción en el espaciamiento, es decir un aumento en la densidad inicial del rodal, usualmente reduce la altura media, pero no necesariamente la altura media dominante. Bredencamp (1987), trabajando con Eucalyptus grandis, encontró que a los 20 años en una plantación de densidad inicial de 5000 árb/ha, la altura media era de 60 m, mientras que con una densidad inicial de 1000 árb/ha, a la misma edad, la altura media era superior a los 75 m.

Walters (1980), trabajando con plantaciones de Eucalyptus saligna de 15 años en Hawaii, determinó que los árboles en densidades de 540 árb/ha y 730 árb/ha, fueron significativamente más altos que aquellos plantados en densidad de 1111 árb/ha; los primeros promediaron 33,8 m y los segundos 29,3 m. A su vez, los árboles con densidad de 1111 árb/ha fueron significativamente más altos que los con densidad de 1736 árb/ha. El autor atribuye las menores tasas de crecimiento en altura con mayores densidades al aumento de la competencia; algunos de los árboles fueron suprimidos, llegando incluso a morir.

3.2.3 Diámetro. Es comunmente aceptado que el diámetro aumenta con la reducción de la densidad, es decir con un mayor espaciamiento, y que esta relación es influida por la edad, especie y sitio (Opie et al. 1984). Walters (1980) encontró que en Eucalyptus saligna el diámetro

promedio de los árboles a densidad de 540 árb/ha, fue significativamente mayor que aquellos de 730, 1111 y 1736 árb/ha. Burgers (1976) determinó que plantaciones de E. grandis a los 25 años, plantadas a una densidad inicial de 741 árb/ha, tenían un diámetro de 33 cm mientras que las plantadas a 6672 árb/ha tenían sólo 12 cm.

Cristie y Button (1991) obtuvieron el máximo dap con las más bajas densidades de plantación (2500 árb/ha, 2125 árb/ha a los ocho años) y el mínimo dap con las más altas densidades de plantación (10.000 árb/ha, 5.333 árb/ha a los ocho años), con Eucalyptus grandis.

Coetzee (1991) reportó que cuando los rodales de Eucalyptus grandis de más altas densidades eran comparados con los rodales de más bajas densidades a los cuatro años, la competencia entre árboles era más intensa en los de mayor densidad, lo cual causaba incrementos en dap relativamente menores.

Seidel (1989), trabajando con Pinus ponderosa y Pinus taeda, señaló que el crecimiento en diámetro aumenta según el espaciamiento, y lo hace tanto para rodales puros como mixtos. Por su parte Reukema (1979) concluye que, para plantaciones de Pseudotsuga menziesii, los espaciamientos más grandes producen un mayor diámetro. Johnstone y Pollack (1990) señalan que el espaciamiento en una plantación de Pinus taeda tiene un efecto dramático y directo sobre el desarrollo del diámetro cuadrático medio del rodal.

La Figura 1 muestra un ejemplo de la relación entre el diámetro del fuste del árbol de diámetro medio y la densidad del rodal en una plantación de ensayo de Eucalyptus regnans para una edad de 13,5 años (Cremer et al., 1984). El diámetro del árbol de diámetro medio cae abruptamente a medida que la densidad aumenta.

3.2.4 Área Basal. Schönau y Coetzee (1989) señalan que en general para E. grandis el área basal incrementa al aumentar la densidad inicial del rodal. Así mismo Walters (1980), en Eucalyptus saligna, encontró que el área basal ($56 \text{ m}^2 / \text{ha}$) en una plantación de 15 años, con 1736 árb/ha, fue significativamente mayor a la de plantaciones de 1111 árb/ha ($50 \text{ m}^2 / \text{ha}$), 730 árb/ha ($43 \text{ m}^2 / \text{ha}$) y 540 árb/ha ($35 \text{ m}^2 / \text{ha}$). Van Laar y Bredencamp (1979), citados por Schönau y Coetzee (1989), determinaron que el área basal aumenta, reduciendo el espaciamiento y que las diferencias llegan a ser progresivamente mayores con la edad, pero que a muy altas densidades el área basal tiende a alcanzar un valor asintótico. Coetzee (1991) señaló la ventaja inicial en términos de producción de área basal por hectárea cuando se comparan espaciamientos cerrados con espaciamientos más amplios en plantaciones de E. grandis. Los espaciamientos más cerrados claramente producen más área basal por hectárea.

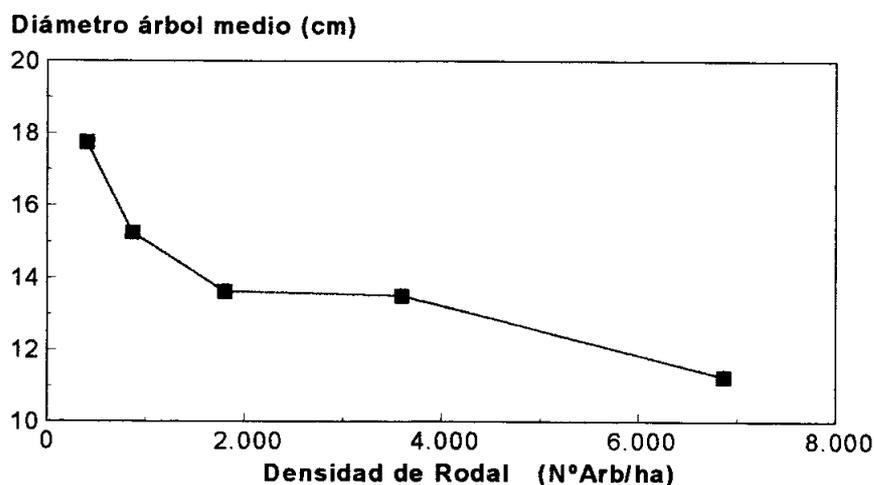


Figura 1. Efecto de la densidad del rodal en el diámetro del árbol medio en plantaciones de E. regnans de 13,5 años de edad (Fuente : Cremer et al.,1984).

Seidel (1989) y Johnstone y Pollak (1990), trabajando con P. taeda y P. menziesii respectivamente, encontraron que el crecimiento en área basal está significativamente relacionado con el espaciamiento, y demostraron el típico patrón de mayor crecimiento a espaciamientos más pequeños, con una declinación a medida que el espaciamiento llega a ser más amplio.

Coetzee (1991) señala que en rodales de E. grandis la relación entre la densidad del rodal y parámetros de rodal como el área basal y el volumen por hectárea, a medida que avanza la edad del rodal, es un tema complicado y se torna en resultados contradictorios. Clutter et al. (1983), citados por Coetzee (1991), consideran que para rodales

coetáneos los efectos de la variación en la densidad del rodal en el crecimiento en términos de área basal o volumen han sido inconsistentes.

Coetzee (1991) obtuvo resultados diferentes en la relación entre área basal y densidad de rodal para dos sitios distintos, trabajando con E. grandis. El comportamiento de la curva que relaciona el área basal con la densidad del rodal en el sitio más pobre es lineal, mientras que en el sitio de mejor calidad asume un comportamiento curvilíneo a contar de los dos años.

3.2.5 Volumen. Opie et al. (1984) señalan que el volumen por hectárea aumenta con el incremento de la densidad del rodal, pero no necesariamente el volumen comercial. Plantaciones de E. saligna de 15 años en Hawaii, a una densidad de 1736 árb/ha produjeron un volumen pulpable de 683 m³/ha, mientras que aquellas de 540 árb/ha produjeron sólo 496 m³/ha. Sin embargo, el volumen aserrable para la primera fue de 27300 pies madereros y para la segunda fue de 31301 pies madereros (Walters, 1980). La Figura 2 ilustra la relación entre el volumen comercial y la densidad de un rodal de E. regnans. El volumen comercial alcanza su máximo a una densidad intermedia. A bajas densidades, la producción es menor debido a que el sitio no es totalmente ocupado durante los primeros años, y a densidades altas gran parte del volumen corresponde a árboles de tamaño no comercial o que ya murieron por efecto de la competencia intraespecífica.

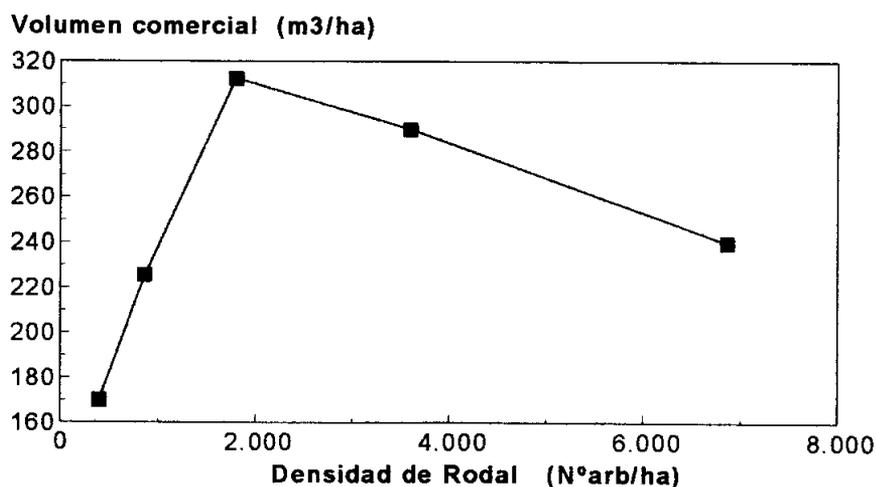


Figura 2. Efecto de la densidad del rodal sobre el volumen del rodal en plantaciones de E. regnans de 13,5 años de edad (Fuente : Cremer et al., 1984).

3.3 Espacio de crecimiento.

Cada árbol individual en el rodal dispone de una superficie que se define como espacio de crecimiento. Este espacio está limitado por la superficie de suelo disponible. Esta superficie es un área nominal disponible para los árboles del rodal, la cual es fácilmente calculada al dividir la hectárea por el número de árboles presentes en ella.

Superficie media por árbol (m^2) = $Fm = 10000/N$; donde N = número de árboles en una hectárea.

Si se asume que el área de un rodal está poblada con árboles de igual tamaño cuyas copas, de forma circular, están uniformemente

desarrolladas a todos lados y con el tallo como eje, las áreas de copas del dosel proyectadas son visualizadas como círculos, los cuales están inscritos dentro de las áreas nominales o potenciales. Dos casos teóricos son posibles por las formas geométricas de las áreas potenciales: el cuadrado y el hexágono (Figura 3).

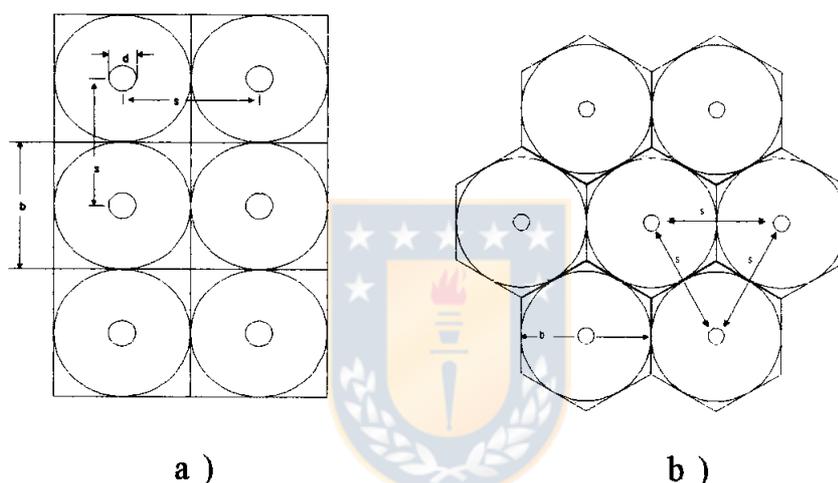


Figura 3. a) Área de cobertura de copas con el arreglo cuadrado; b) Área de cobertura de copas con arreglo triangular.

3.3.1 Arreglo cuadrado. El diámetro de copa (ancho de la copa) es definido como " b " (Figura 3) , el área de suelo cubierto como " c " , y el área (espacio) de suelo disponible nominal como " f ". Con áreas nominales cuadradas, la longitud del lado es " b " ; éste a su vez es igual a la distancia entre árboles " s " , la cual se mide paralela a los lados del cuadrado. Así se obtiene el siguiente valor para el área máxima de suelo que cubriría una copa:

$$c = \pi b^2/4 = 0,785b^2$$

y para el área nominal o potencial el valor es :

$$f_q = b^2$$

3.3.2 Arreglo triangular. En este caso las áreas potenciales son hexágonos con las copas inscritas en ellos (Figura 3). El diámetro del círculo inscrito es " b ", el cual al mismo tiempo es igual a la distancia entre árboles en todas direcciones. El área de suelo cubierto es :

$$c = 0.785 b^2$$

el área nominal es :

$$f_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{3} b^2 = 0.866 b^2$$

Si se asume una espesura ideal en el rodal, es decir si todas las copas circulares están en contacto, se puede encontrar las siguientes relaciones para la razón área de suelo cubierto / área nominal, o c / f :

con áreas nominales cuadradas : $c/f_g = 0.785 b^2 / b^2 = 0.785$

con áreas nominales triangulares : $c/f_s = 0.785 b^2 / 0.866 b^2 =$
0.906

Las dos razones representan los grados teóricos de cubrimiento del suelo para arreglo cuadrado y triangular. La diferencia entre esas razones y el valor 1 es la proporción de rodal desocupado o vacante de cubrimiento del suelo (0.215 con arreglo cuadrado, y 0.094 con arreglo triangular). La Figura 3 muestra la utilización más completa del espacio de crecimiento por parte del espaciamiento triangular. Además este tipo

de espaciamiento permite una mayor densidad, calculándola a partir del diámetro promedio de copa :

espaciamiento cuadrado : $N = 10000 / b^2$

espaciamiento triangular : $N = 10000 / (0.866b^2) = (10000 / b^2) \times 1.155 = 11550 / b^2$

es decir, 15,5 % más árboles utilizando la misma superficie con el espaciamiento triangular que con el espaciamiento cuadrado. Esta diferencia podría significar que habría menos competencia entre los árboles plantados con arreglo triangular que con arreglo cuadrado, lo que podría reflejarse en mayor diámetro, altura, diámetro de copas o volumen de los árboles plantados con arreglo triangular.



IV MATERIALES Y METODO

4.1 Descripción del lugar del ensayo

El ensayo fue establecido en el predio Las Acacias, propiedad de Forestal Angol Ltda., ubicado a 22 km al este de la ciudad de Mulchén por el camino al fundo El Morro. El suelo del lugar es un trumao profundo de la serie Santa Bárbara, cuya descripción se presenta en el anexo 1. El uso anterior del suelo fue pradera con pastoreo, la cual estaba compuesta principalmente por las especies : Cynosorus echinatus, Bromus hordeaceus, Echium plantagineum (hierba azul), Arrhenatherum elatior (pasto cebolla), Briza maxima (tembladera), Hypochaeris radicata (hierba del chancho) y Rumex acetosella (vinagrillo).

La descripción de las características climáticas del lugar se presenta en el anexo 2. Esta se basa en los datos registrados en la estación meteorológica del predio Verdún, propiedad de Forestal Angol Ltda., ubicado a 16 km del predio Las Acacias.

4.2 Diseño experimental

El ensayo corresponde a un experimento factorial con dos factores, arreglo de plantación con dos niveles y espaciamiento con 10 niveles, es decir 20 tratamientos. El diseño experimental corresponde a parcelas

divididas con asignación en bloques (Steel y Torrie, 1988). La asignación es completamente aleatoria con 5 repeticiones. El factor arreglo de plantación asignado a parcelas principales y el factor espaciamento asignado a subparcelas (Figura 4).

4.3 Establecimiento del ensayo y material experimental

El establecimiento del ensayo en terreno se hizo en Octubre de 1992. La plantación fue manual y la ubicación de las plantas se determinó con cuerdas y huinchas de distancia. Las parcelas principales son rectangulares, de 30 m de ancho por 285 m de largo y las subparcelas de 30 m por 28,5 m. Cada subparcela está aislada por una franja de amortiguación de 2 hileras en todo el perímetro, dejando un tamaño efectivo de 16 m por 18 m, con una superficie de 288 m², la cual constituye la unidad muestral (Figura 4 b y c). La cantidad de plantas dentro de la unidad muestral varía según el tratamiento, en un rango de 15 a 96 plantas. Las plántulas de Eucalyptus nitens utilizadas en el ensayo fueron producidas en el vivero de Forestal Angol, en bandejas de PVC de 96 cavidades, con 100 cc de pan radicular. La procedencia de la semilla es Torongo Plateau, origen australiano. Se establecieron plantas con diámetro de cuello de 3 mm y 25 cm de altura.

4.4 Descripción de los tratamientos

Mediante la combinación de los factores arreglo y espaciamento de plantación, con 2 y 10 niveles respectivamente, se obtiene un total de 20 tratamientos los cuales se describen en la tabla 1.

4.5 Toma de la muestra y variables medidas

El ensayo fue medido en Abril de 1995. La muestra está constituida por todos los árboles de las parcelas, a los cuales se les hicieron las siguientes mediciones:

Diámetro de cuello en cm (huincha diamétrica , precisión mm).

Altura total en m (vara telescópica, precisión cm).

Diámetro de copa (E-O, N-S) en m (huincha distancia metálica, precisión cm).

4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Análisis para determinar el efecto del espaciamiento y arreglo de plantación. Se hizo un análisis de varianza correspondiente a un arreglo factorial en parcela dividida y diseño de parcela dividida en bloques ($\alpha = 0,95$) (Steel y Torrie, 1988), para determinar si había efecto de los factores espaciamiento y arreglo de plantación o interacción, sobre las variables :

Diámetro de cuello

Altura total

Diámetro promedio de copa

Proyección de copa promedio por árbol

Proyección de copa promedio por hectárea

Sección basal por árbol

Sección basal por hectárea

D²H promedio por árbol

D²H por hectárea

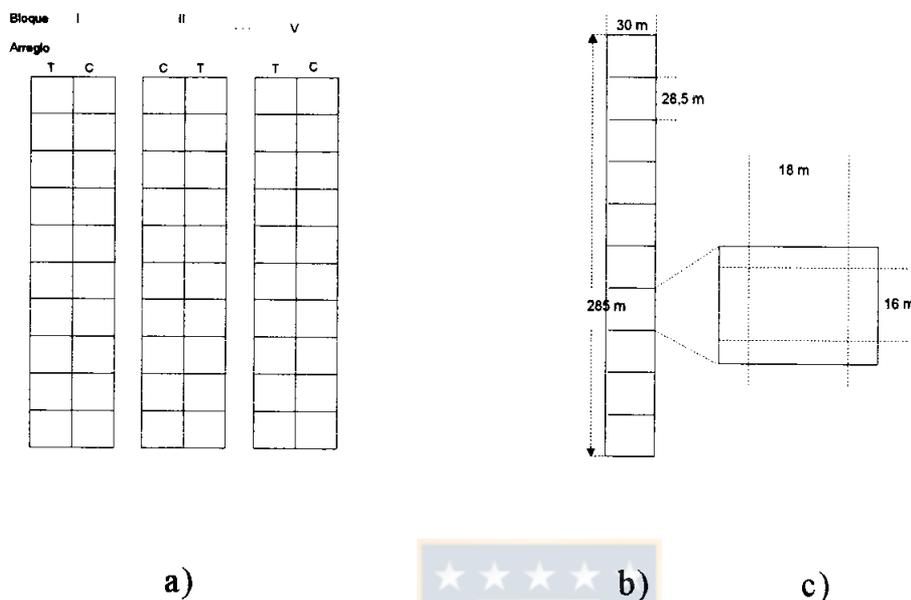


Figura 4. a) Croquis del diseño experimental y la asignación del factor arreglo; b) croquis de la parcela principal, a la que se asigna el factor arreglo de plantación; c) croquis de la sub-parcela, a la que se asigna el espaciamiento.

4.6.2 Análisis de comparaciones múltiples. Para las variables en que se determinó efecto del espaciamiento o arreglo de plantación, se aplicó el test de Tukey ($\alpha = 0,95$), para determinar diferencias entre tratamientos o grupos de tratamientos (Steel y Torrie, 1988). Para las variables en que se presentó interacción entre arreglo y espaciamiento, se analizó el efecto del factor espaciamiento por separado para cada tipo de arreglo.

4.7 Análisis del efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables.

Para determinar el efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables se ajustaron varios modelos matemáticos a los pares de datos de las relaciones estudiadas, para todos los árboles del ensayo. Los modelos probados fueron :

lineal : $y = a + b x$

logarítmico : $y = a + b \ln x$

exponencial : $y = a e^{b x}$

donde : a : intersección con eje y

b : coeficiente de la función

y : variable dependiente

x : variable independiente

e : base logaritmo neperiano (2.71828)

Para cada relación se ajustaron estos modelos y se seleccionó el mejor, el cual fue luego ajustado a los pares de datos de las mismas variables, para cada tratamiento, espaciamiento y arreglo, de tal manera de poder comparar la curva general con las ajustadas a cada tratamiento, mediante una prueba de F.

$$SCE = (S (Y_i - Y)^2)$$

$$F = ((SCE_j - SCE_s) / SCE_s) / (j / (j - s))$$

donde : SCE : suma de cuadrados del error.

Y_i : valor i-ésimo de la variable Y

Y : valor estimado de Y para un X_i

SCE s : sumatoria de las sumas de cuadrados del error de cada tratamiento.

SCE j : suma de cuadrados del error para el modelo general.

j : grados de libertad para el error del modelo general.

s : suma de grados de libertad del error de cada tratamiento.

n : tamaño de la muestra.

Luego, con el modelo seleccionado para cada relación, se hizo el ajuste en cada tratamiento. En el caso de las relaciones que incluían una variable relacionada con los tratamientos, tales como el espaciamiento o el número de árboles por hectárea, sólo se realizó el ajuste general con el modelo seleccionado. Las regresiones lineales y sus análisis de varianza se hicieron con el software estadístico Simstat.

4.8 Relaciones analizadas.

- | | | |
|---------------------|---------|--------------------------|
| a. $H = f (DAC)$ | donde : | H : Altura |
| b. $H = f (N)$ | | DAC : Diámetro de cuello |
| c. $DC = f (DAC)$ | | N : N° árboles / ha |
| d. $DAC = f (N)$ | | DC : Diámetro de copa |
| e. $DAC = f (E)$ | | E : Espaciamiento |
| f. $V = f (N)$ | | V : $DAC^2 H$ |
| g. $V = f (E)$ | | |
| h. $V = f (DC)$ | | |

TABLA 1. DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS SEGUN LA COMBINACION DE NIVELES DE CADA FACTOR.

Tratamiento	Espaciamiento (m)	Arreglo	Esp. sobre hilera plantación (m)	Esp. entre hilera plantación (m)	árb./ha*
1	1.8	Cuadrado	1.8	1.8	3086
2	2	Cuadrado	2	2	2500
3	2.3	Cuadrado	2.3	2.3	1890
4	2.5	Cuadrado	2.5	2.5	1600
5	2.8	Cuadrado	2.8	2.8	1275
6	3	Cuadrado	3	3	1111
7	3.3	Cuadrado	3.3	3.3	918
8	3.5	Cuadrado	3.5	3.5	816
9	3.8	Cuadrado	3.8	3.8	692
10	4	Cuadrado	4	4	625
11	1.8	Triangular	1.8	1.56	3561
12	2	Triangular	2	1.73	2890
13	2.3	Triangular	2.3	1.99	2185
14	2.5	Triangular	2.5	2.17	1843
15	2.8	Triangular	2.8	2.42	1476
16	3	Triangular	3	2.6	1282
17	3.3	Triangular	3.3	2.86	1059
18	3.5	Triangular	3.5	3.03	943
19	3.8	Triangular	3.8	3.29	800
20	4	Triangular	4	3.46	722

Nota : "*" indica valores nominales de árb. / ha.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Resultados obtenidos para cada variable de estado de rodal en cada combinación entre los factores arreglo y espaciamiento de plantación

En la tabla 2 se presentan los promedios obtenidos en cada variable de estado de rodal con cada una de las 20 combinaciones entre los factores arreglo y espaciamiento de plantación.

TABLA 2. PROMEDIOS OBTENIDOS CON CADA TRATAMIENTO PARA CADA VARIABLE DE ESTADO DE RODAL.

Arreglo	Espaciamiento (m)	Densidad real (árb./ha)	Dac (cm)	Altura (m)	D. prom. copa (m)	Area proy. copa (m ² /árb.)	Area proy. copa (m ² /ha)	Vol. / árbol (m ³ /árb.)	Vol. / ha (m ³ /ha)	Sec.basal / árbol (m ² /árb.)	Sec.basal / ha (m ² /ha)
cuadrado	1,8	2854	9,8	7,84	2,46	13728,2	13728,2	0,0813	231,7498	0,0078	22,3159
cuadrado	2	2062	9,9	7,15	2,86	13093,1	13093,1	0,0786	164,6193	0,0081	16,7892
cuadrado	2,3	1681	10,5	7,44	2,97	11626,3	11626,3	0,0888	148,6509	0,009	14,9852
cuadrado	2,5	1340	10,2	7,4	2,98	9422	9422	0,0897	122,1991	0,0087	11,8492
cuadrado	2,8	1062	11,5	7,43	2,82	6952,5	6952,5	0,108	111,7672	0,0109	11,334
cuadrado	3	875	11,1	6,9	3,22	7156,1	7156,1	0,0963	83,453	0,0102	8,8953
cuadrado	3,3	924	10,1	5,99	3,11	7018,6	7018,6	0,0733	67,4492	0,0087	7,9849
cuadrado	3,5	806	12,2	7,36	3,49	7736,9	7736,9	0,1258	100,4005	0,0123	9,8695
cuadrado	3,8	618	11,9	6,68	3,48	5909,2	5909,2	0,1064	66,0388	0,0117	7,2308
cuadrado	4	542	11,3	6,57	3,43	5056,8	5056,8	0,0988	53,9472	0,0107	5,851
triangular	1,8	3167	9,4	8	2,28	12931,1	12931,1	0,0778	248,0126	0,0073	23,1673
triangular	2	2500	9,8	7,79	2,42	11471	11471	0,0842	210,5587	0,008	19,9966
triangular	2,3	2049	10,7	7,81	2,72	11882,7	11882,7	0,0984	202,0773	0,0094	19,2953
triangular	2,5	1708	10,7	7,78	2,85	10799,3	10799,3	0,0969	163,0312	0,0094	15,833
triangular	2,8	1243	11	7,51	3,04	9008,9	9008,9	0,1024	130,6958	0,0101	12,6714
triangular	3	1174	10,7	6,77	2,96	8062,6	8062,6	0,089	103,8878	0,0096	11,2632
triangular	3,3	937	11	6,86	3,14	7318,8	7318,8	0,0921	88,7297	0,01	9,5126
triangular	3,5	771	11,9	7,12	3,22	6225,1	6225,1	0,1142	87,9145	0,0118	9,0855
triangular	3,8	806	10,7	6,25	2,9	5294,6	5294,6	0,083	65,8215	0,0096	7,6558
triangular	4	646	11	6,48	3,1	4909,5	4909,5	0,0888	57,195	0,0101	6,4788

5.2 Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las variables de estado de rodal

Los análisis de varianza realizados para determinar los efectos de los factores espaciamiento, arreglo de plantación e interacción entre ambos, indican que el arreglo de plantación causó efectos significativos sobre las variables diámetro de copa y área de proyección de copa por árbol. También indican que el espaciamiento causó un efecto significativo sobre todas las variables de estado de rodal. De la misma manera, indican que la interacción entre espaciamiento y arreglo de plantación fue significativa para las variables diámetro de copa y área de proyección de copa (Tabla 3).

TABLA 3. EFECTO DEL ESPACIAMIENTO, ARREGLO DE PLANTACION E INTERACCION ENTRE ESPACIAMIENTO Y ARREGLO SOBRE LAS VARIABLES DE ESTADO DE RODAL.

Fuente de Variación	g l	Variables de estado de rodal								
		Dac	Altura	D. prom. copa	A. proy. copa / árb.	A. proy. copa / ha	Vol. / árb.	Vol. / ha	Sección basal / árb.	Sección basal / ha
Arreglo de plantación	1	n s	n s	*	*	ns	n s	ns	n s	ns
Espaciam. de plantación	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Interacción entre factores	9	n s	n s	*	*	ns	n s	n s	n s	n s

Nota : ns, indica efecto no significativo; "*" indica efecto significativo.

5.3 Efecto del espaciamiento de plantación sobre las variables de estado de rodal

En la Tabla 4 se presenta para cada nivel de densidad los promedios obtenidos en las variables diámetro de cuello, altura, área de proyección de copa por hectárea, volumen por árbol, volumen por hectárea, sección basal por árbol y sección basal por hectárea, que fueron afectadas significativamente por el espaciamiento de plantación (excluidas las variables donde hubo interacción).

5.3.1 Efecto del espaciamiento de plantación sobre el diámetro de cuello promedio.

El diámetro de cuello promedio disminuye con el aumento de la densidad de rodal (Figura 5). Esto concuerda con lo señalado por Burgers (1976), Cremer et al. (1984), Cristie y Button (1991), Opie et al. (1984) y Walters (1980) para especies de Eucalyptus, de la misma manera que para algunas coníferas según los resultados obtenidos por Reukema (1979) y Seidel (1989), que encontraron un aumento en el diámetro con la reducción de la densidad.

En espaciamiento 3.5 m el diámetro de cuello (dac) es significativamente mayor que en los espaciamientos 1.8 m, 2.0 m, 2.3 m, 2.5 m y 3.3 m. Además, en los espaciamientos 1.8 m y 2.0 m el diámetro de cuello es significativamente menor que en los espaciamientos 2.8 m, 3.5 m, 3.8 m y 4.0 m; finalmente el dac promedio en el espaciamiento 3.0 m es significativamente mayor que en el espaciamiento 1.8 m (Tabla 4).

5.3.2 Efecto del espaciamiento sobre la altura promedio. A medida que la densidad del rodal aumenta la altura promedio aumenta (Figura 6). Esta tendencia difiere con los resultados obtenidos por Bredencamp (1987), Opie et al. (1984), y Walters (1980), quienes señalan que a medida que la densidad del rodal aumenta hay una disminución en la altura media de rodales de especies del género Eucalyptus. Esta diferencia puede deberse al cierre del dosel más temprano observado en los espaciamientos menores, lo cual elimina por completo la cubierta de malezas que compiten por agua en tanto que éstas aún están presentes en espaciamientos mayores, donde el cierre de dosel no se ha completado al tercer año. Además, el más temprano cierre de dosel puede estar afectando positivamente la oferta nutritiva del suelo ya que podría haber comenzado el ciclo de descomposición del mantillo.

TABLA 4. PROMEDIOS OBTENIDOS EN CADA VARIABLE DE ESTADO AFECTADA POR EL ESPACIAMIENTO DE PLANTACION.

Espaciam. (m)	Densidad * (árbo./ha)	Dac (cm)	Altura (m)	Area proy. copa / ha (m ²)	Vol. / árbol (m ³)	Vol / ha (m ³)	Sec basal / árbol (m ²)	Sec .basal / ha (m ²)
1,8	3010	9,58 d	7,92 a	13229,65 a	0.0796 b	239,88 a	0.0076 d	22,74 a
2	2281	9,84 cd	7,47 abc	12282,07 ab	0.0814 b	187,59 b	0.0081 cd	18,39 b
2,3	1864	10,58 bcd	7,62 ab	11754,51 ab	0.0934 ab	175,36 bc	0.0092 bcd	17,14 b
2,5	1524	10,44 bcd	7,59 abc	10110,66 bc	0.0933 ab	142,62 cd	0.0091 bcd	13,84 c
2,8	1153	11,25 ab	7,47 abc	7980,69 cd	0.1052 ab	121,23 d	0.0105 ab	12 cd
3	1024	10,9 abc	6,83 abc	7609,34 de	0.0927 ab	93,67 de	0.0099 abc	10,08 de
3,3	930	10,53 bcd	6,42 c	7168,67 def	0.0827 b	78,09 e	0.0093 bcd	8,75 ef
3,5	788	12,07 a	7,24 abc	6981,02 def	0.1201 a	94,16 de	0.0121 a	9,48 de
3,8	711	11,32 ab	6,46 c	5601,92 ef	0.0947 ab	65,93 e	0.0106 ab	7,44 ef
4	593	11,59 ab	6,52 bc	4983,16 f	0.0938 ab	55,57 e	0.0104 ab	6,16 f

Nota : Las letras junto a los promedios indican los grupos de espaciamientos con diferencias significativas según test de Tukey; "*" densidad real.

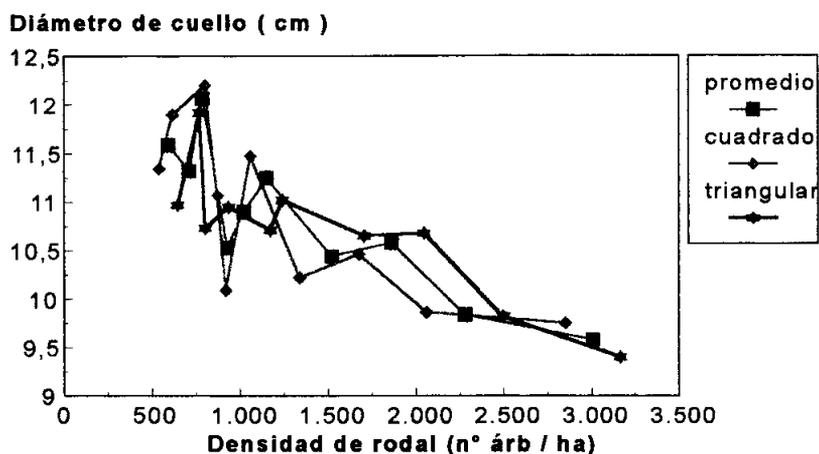


Figura 5. Relación entre diámetro de cuello y densidad de rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

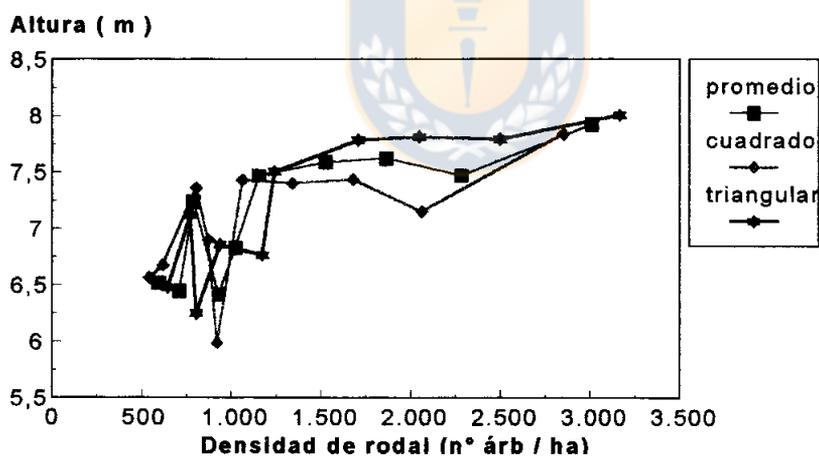


Figura 6. Relación entre altura y densidad de rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

La altura promedio para el espaciamiento 4.0 m es significativamente menor que para el espaciamiento 1.8 m. En los espaciamientos 3.3 m y 3.8 m la altura promedio es significativamente menor que en los

espaciamientos 1.8 m y 2.3 m (Tabla 4).

5.3.3 Efecto del espaciamiento sobre el área de proyección de copa promedio por hectárea. A medida que aumenta la densidad del rodal también aumenta el área de proyección de copa promedio por hectárea (Figura 7). La media del área de proyección de copa por hectárea para el espaciamiento 1.8 m es significativamente mayor que la de los espaciamientos 2.5 m y superiores; los espaciamientos 2.0 m, 2.3 m y 2.5 m es significativamente mayor a la de los espaciamientos 3.0 m, 3.3 m, 3.5 m, 3.8 m y 4.0 m; en el espaciamiento 2.8 m es significativamente menor que en los espaciamientos 2.0 m y 2.3 m, y significativamente mayor que en los espaciamientos 3.8 m y 4.0 m; en el espaciamiento 3.0 m es significativamente mayor que en el espaciamiento 4.0 m (Tabla 4).

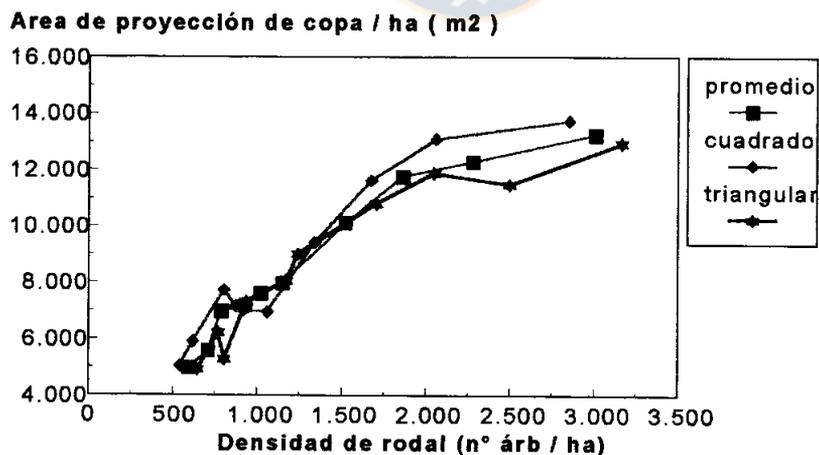


Figura 7. Relación entre área de proyección de copa por hectárea y densidad de rodal, en *Eucalyptus nitens* de tres años de edad.

A partir de los 1524 árboles por hectárea, densidad equivalente al

espaciamiento 2.5 m, la proyección de copa por hectárea supera los 10.000 m², lo cual indica que a partir de esta densidad, a los tres años de edad, se produce el entrecruzamiento de copas.

5.3.4 Efecto del espaciamiento sobre el volumen promedio por árbol.

En la Figura 8 se observa una tendencia a disminuir en el volumen por árbol a medida que aumenta la densidad del rodal. La media para el espaciamiento 3.5 m es significativamente mayor a las medias obtenidas con los espaciamientos 1.8 m, 2.0 m y 3.3 m (Tabla 4).

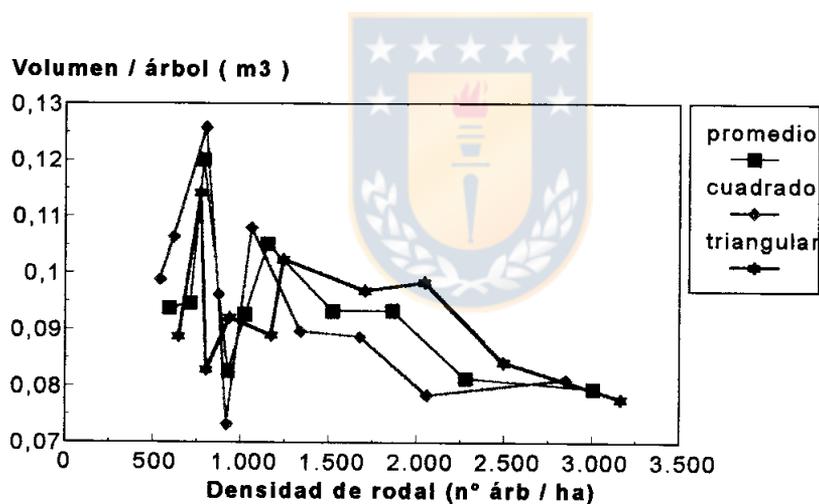


Figura 8. Relación entre volumen por árbol y densidad del rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

5.3.5 Efecto del espaciamiento sobre el volumen por hectárea. Los resultados obtenidos indican que a mayor densidad de rodal el volumen total aumenta (Figura 9). Esto concuerda con lo señalado por Opie et al. (1984) y Walters (1980), quienes encontraron que el volumen total

aumenta con el aumento de la densidad del rodal para especies del género Eucalyptus.

La media para los espaciamientos 4.0 m, 3.8 m y 3.3 m es significativamente menor que la obtenida para los espaciamientos 2.8 m, 2.5 m, 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m; la media de los espaciamientos 3.5 m, 3.0 m y 2.8 m es significativamente menor que la obtenida en los espaciamientos 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m; la media del espaciamiento 2.5 m es significativamente menor que la de los espaciamientos 2.0 m y 1.8 m; la media para el espaciamiento 1.8 m es significativamente mayor que la de los espaciamientos 2.0 m y 2.3 m (Tabla 4).

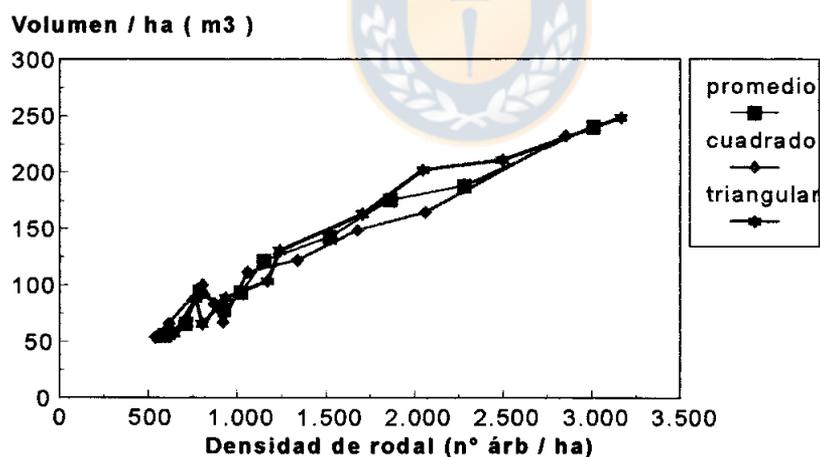


Figura 9. Relación entre volumen por hectárea y densidad del rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

5.3.6 Efecto del espaciamiento sobre la sección basal por árbol. La sección basal promedio por árbol tiende a disminuir al aumentar la densidad del rodal (Figura 10). La sección basal por árbol de los espaciamientos 2.8 m, 3.8 m y 4.0 m es significativamente mayor que la obtenida en los espaciamientos 2.0 m y 1.8 m; la media para el espaciamiento 3.5 m es significativamente mayor que la obtenida con los espaciamientos 3.3 m, 2.5 m, 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m; la media para el espaciamiento 3.0 m es significativamente mayor que la obtenida con el espaciamiento 1.8 m (Tabla 4).

5.3.7 Efecto del espaciamiento sobre la sección basal por hectárea. La sección basal promedio por hectárea aumenta con el aumento de la densidad del rodal (Figura 11). Este resultado concuerda con lo señalado por Coetzee (1991) y Schönau y Coetzee (1989), Van Laar y Bredencamp (1979) y Walters (1980), citados por Schönau y Coetzee (1989), quienes encontraron que el área basal por hectárea aumenta con la disminución del espaciamiento, en plantaciones del género Eucalyptus. Seidel (1989) y Johnston y Pollak (1990) detectaron el mismo efecto en coníferas.

La media obtenida con el espaciamiento 4.0 m es significativamente menor que las medias obtenidas con los espaciamientos 3.0 m, 2.8 m, 2.5 m, 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m; las medias obtenidas con los espaciamientos 3.3 m y 3.8 m son significativamente menores que las obtenidas con los espaciamientos 2.8 m, 2.5 m, 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m; las medias de los

espaciamientos 3.0 m y 3.5 m son significativamente menores que las obtenidas con los tratamientos de 2.5 m, 2.3 m, 2.0 m y 1.8 m de espaciamiento (Tabla 4).

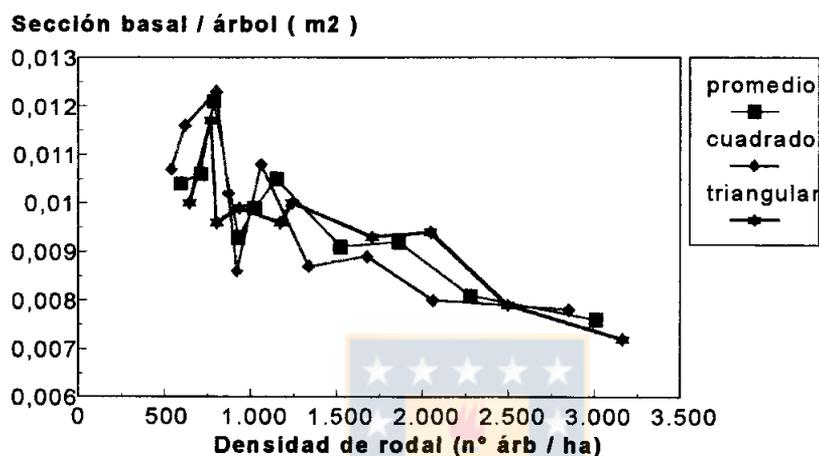


Figura 10. Relación entre sección basal por árbol y densidad de rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

5.4 Efecto de la interacción entre arreglo de plantación y espaciamiento sobre las variables de estado de rodal

La Tabla 3 muestra que las variables diámetro promedio de copa y área de proyección de copa por árbol son afectadas significativamente por la interacción entre arreglo y espaciamiento. En estas variables corresponde realizar el análisis de cada factor en estudio para cada nivel del otro factor con el cual interactúa.

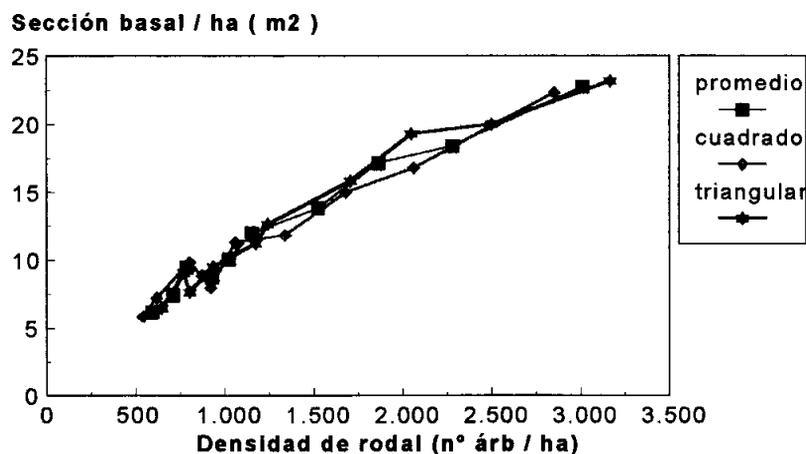


Figura 11. Relación entre sección basal por hectárea y densidad de rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

5.4.1 Efecto de la interacción entre arreglo y espaciamiento sobre el diámetro de copa. El efecto de la densidad se manifiesta a través de una disminución sostenida en el diámetro promedio de copa con el aumento de la densidad (Figura 12), debido al inicio más temprano del proceso de competencia por espacio de crecimiento con las densidades mayores. Los valores promedio de la variable diámetro promedio de copa obtenidos para cada arreglo de plantación son presentados en la Tabla 5.

Los valores promedio de diámetro de copa son significativamente menores con espaciamiento triangular cuando la densidad de plantación es menor a 850 árb./ha y mayor a 1400 árb./ha. Con densidad de plantación entre 850 y 1400 árb./ha los valores promedio son significativamente mayores con arreglo triangular (Tabla 5, Figura 12).

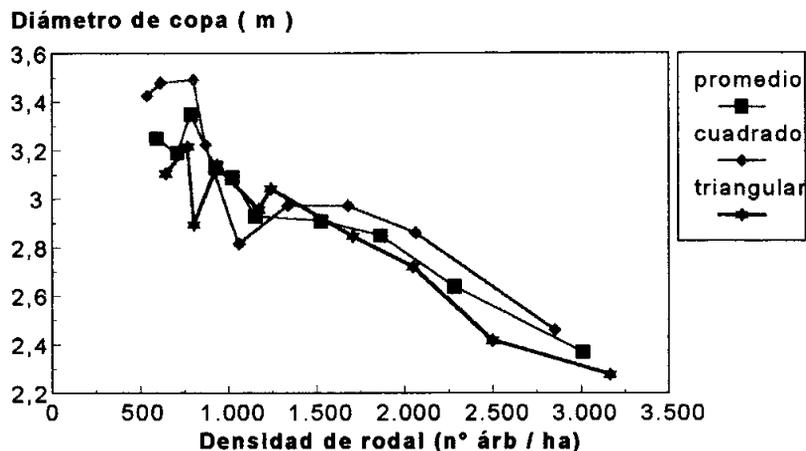


Figura 12. Relación entre diámetro de copa y densidad de rodal, en E. nitens de tres años de edad.

TABLA 5 : DIAMETRO DE COPA EN CADA NIVEL DE ESPACIAMIENTO PARA CADA ARREGLO DE PLANTACION.

Espaciamiento (m)	Densidad Arreglo cuadrado (árb. / ha)	D. prom. copa Arreglo cuadrado (m)	Densidad Arreglo triangular (árb. / ha)	D. prom. copa Arreglo triangular (m)
1,8	2854	2.4513b	3167	2.22336e
2	2062	2.8254ab	2500	2.38136de
2,3	1681	2.9535ab	2049	2.68579cd
2,5	1340	2.9459ab	1708	2.82634bc
2,8	1062	2.8359ab	1243	3.05183ab
3	875	3.2236a	1174	2.95558abc
3,3	924	3.0809ab	937	3.13984ab
3,5	806	3.4920a	771	3.21636a
3,8	618	3.4767a	806	2.89582abc
4	542	3.4257a	646	3.10443ab

Nota : Las letras junto a los promedios indican los grupos de espaciamientos con diferencias significativas dentro de cada arreglo, según test de Tukey.

El diámetro promedio de copa es significativamente menor con espaciamiento 1,8 m que con espaciamientos 3 m, 3,5 m, 3,8 m y 4,0 m, para arreglo cuadrado. En arreglo triangular, los resultados indican que el diámetro promedio de copa es significativamente mayor con espaciamiento 3,5 m que con espaciamientos de 1,8 m, 2,0 m, 2,3 m y 2,5 m; además con espaciamientos 2,8 m, 3,3 m y 4,0 m el diámetro promedio de copa es significativamente mayor que con espaciamientos 1,8 m, 2,0 m y 2,3 m; con espaciamientos 2,5 m, 3,0 m y 3,8 m el diámetro promedio de copa es significativamente mayor que con espaciamientos 1,8 m y 2,0 m; además, el diámetro promedio de copa es significativamente mayor con espaciamiento 2,3 m que con 1,8 m (Tabla 5).

5.4.2 Efecto de la interacción entre arreglo y espaciamiento sobre el área de proyección de copa promedio por árbol. El área de proyección de copa promedio por árbol tiende a disminuir en la medida que el número de árboles por hectárea aumenta (Figura 13). Este comportamiento, al igual que para el diámetro promedio de copa, podría estar explicado por el menor espacio de crecimiento a que estarían sometidos los árboles a medida que la densidad del rodal aumenta.

El área de proyección de copa promedio por árbol es significativamente menor con espaciamiento triangular cuando la densidad de plantación es menor a 850 árb./ha y mayor a 1400 árb./ha. Con densidad de plantación entre 850 y 1400 árb./ha los valores promedio son significativamente mayores con arreglo triangular (Tabla 6, Figura 13).

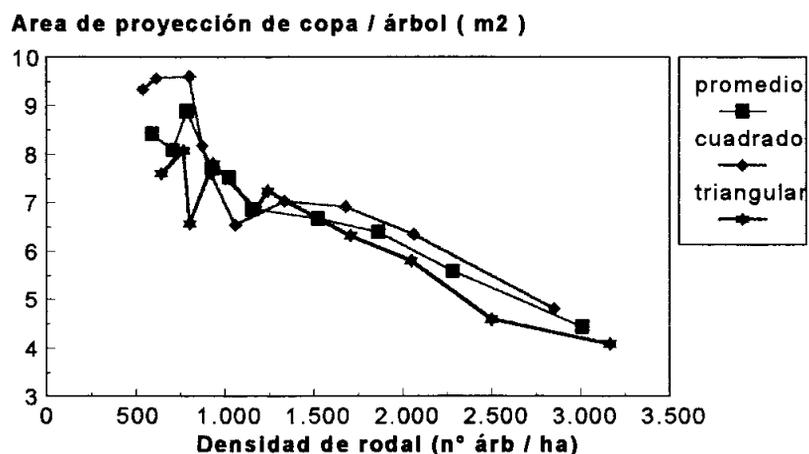


Figura 13. Relación entre área de proyección de copa por árbol y densidad de rodal, en Eucalyptus nitens de tres años de edad.

TABLA 6: AREA DE PROYECCION DE COPA PROMEDIO POR ARBOL EN CADA ESPACIAMIENTO PARA CADA ARREGLO DE PLANTACION.

Espaciamiento (m)	Densidad Arreglo cuadrado (árb. / ha)	Area proy. copa prom. / árbol Arreglo cuadrado (m ²)	Densidad Arreglo triangular (árb. / ha)	Area proy. copa prom. / árbol Arreglo triangular (m ²)
1,8	2854	5.0048b	3167	4.2715f
2	2062	6.7087ab	2500	4.7517ef
2,3	1681	7.1515ab	2049	5.9420de
2,5	1340	7.0944ab	1708	6.5542cd
2,8	1062	6.7467ab	1243	7.5734abc
3	875	8.6135a	1174	7.1744abcd
3,3	924	7.8346ab	937	8.1552ab
3,5	806	9.9110a	771	8.5224a
3,8	618	9.8576a	806	6.8874bcd
4	542	9.7675a	646	7.8760abc

Nota : Las letras junto a los promedios indican los grupos de espaciamientos con diferencias significativas dentro de cada arreglo, según test de Tukey.

Con arreglo cuadrado, el área de proyección de copa por árbol es

significativamente menor con espaciamiento 1,8 m que con espaciamiento 3,0 m, 3,5 m, 3,8 m y 4,0 m. En arreglo triangular, con espaciamiento 3,5 m el área de proyección de copa por árbol es significativamente mayor que con espaciamiento 1,8 m, 2,0 m, 2,3 m, 2,5 m y 3,8 m; de la misma manera, con espaciamiento 3,3 m el área de proyección de copa por árbol es significativamente mayor que con espaciamiento 1,8 m, 2,0 m, 2,3 m y 2,5 m; con espaciamiento 2,8m y 4,0 m el área de proyección de copa es significativamente mayor que con espaciamiento 2,3 m, 2,0 m y 1,8 m; además, con espaciamiento 2,5 m, 3,0 m y 3,8 m el área de proyección de copa por árbol es significativamente mayor que con espaciamiento 1,8 m y 2,0 m; con espaciamiento 2,3 m el área de proyección de copa por árbol es significativamente mayor que con espaciamiento 1,8 m (Tabla 6).

5.5 Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre las relaciones entre variables.

5.5.1 Efecto del espaciamiento y arreglo de plantación sobre relaciones entre variables no asociadas a los tratamientos.

5.5.1.1 Relación altura - diámetro de cuello. Entre los modelos lineal, exponencial y logarítmico, ajustados a los datos de altura y diámetro de cuello, el modelo logarítmico resultó ser el mejor, con el menor valor de SCE y el mejor nivel de correlación. Además, la relación altura-diámetro de cuello presentó el mejor nivel de correlación comparado a las otras relaciones estudiadas. La Figura 14 muestra las curvas que

representan el ajuste del modelo a la relación altura-diámetro de cuello para cada arreglo de plantación.

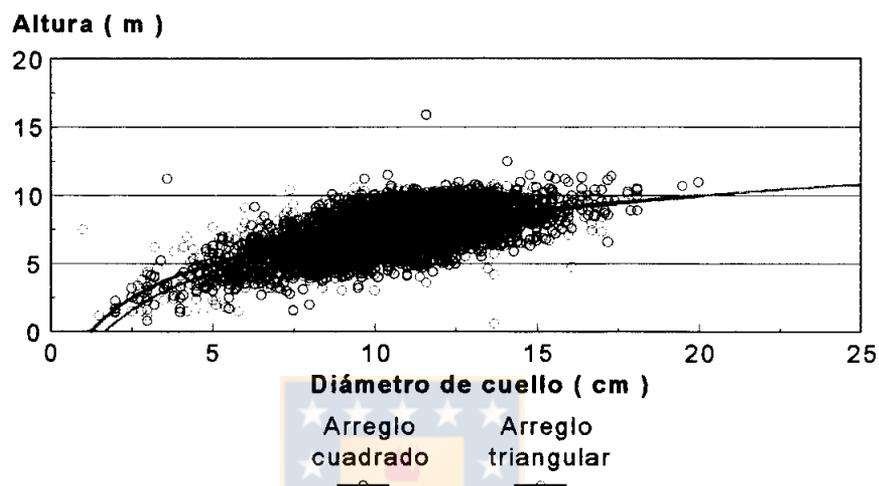


Figura 14. Representación de la función logarítmica ajustada para la relación entre altura y diámetro de cuello, para cada arreglo de plantación.

La Figura 14 muestra que hay un efecto leve en la relación altura-diámetro de cuello al comparar los ajustes realizados para cada arreglo; en el rango inferior de diámetro se observa una separación de las curvas, que indicaría una diferencia de pendiente entre ambas. Por su parte, las pruebas F realizadas a los ajustes del modelo logarítmico a cada tratamiento, arreglo y a todos los datos del experimento (Tabla 7), indican que el espaciamiento y el arreglo afectan significativamente la relación entre las variables altura y diámetro de cuello.

TABLA 7. RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LOGARITMICO A LA RELACION ALTURA - DIAMETRO DE CUELLO, DENTRO DE CADA ESPACIAMIENTO EN CADA ARREGLO DE PLANTACION, PARA TODOS LOS DATOS DENTRO DE CADA ARREGLO Y DE UN AJUSTE GLOBAL CON LOS DATOS DE TODAS LAS COMBINACIONES DE ARREGLO Y ESPACIAMIENTO DE PLANTACION.

Arreglo de plantación	Espaciamiento (m)	a	b	r	n	Grados libertad error	Suma cuadrados error (SCE)	Error cuadrático promedio (MSCE)
Cuadrado	1,8	-1.1101	3.9772	0.7248	411	409	391.9789	0.9583
Cuadrado	2	-2.7960	4.4188	0.7513	304	302	337.3160	1.1169
Cuadrado	2,3	-2.5376	4.3057	0.7067	249	247	241.60	0.9782
Cuadrado	2,5	-3.7214	4.6139	0.7850	199	197	225.4576	1.1445
Cuadrado	2,8	-3.9432	4.7131	0.7254	153	151	161.4358	1.0691
Cuadrado	3	-1.8048	3.6940	0.5822	126	124	275.0268	2.2180
Cuadrado	3,3	-2.5155	3.7561	0.7800	133	131	146.7358	1.1201
Cuadrado	3,5	-10.3519	7.1125	0.8158	116	114	164.1776	1.4402
Cuadrado	3,8	-5.9483	5.1509	0.665	89	87	184.3940	2.1195
Cuadrado	4	-4.7820	4.7491	0.8106	78	76	74.4491	0.9796
Triangular	1,8	-1.4441	4.2774	0.6879	451	449	575.928	1.2827
Triangular	2	-1.9402	4.3232	0.8117	360	358	273.0919	0.7628
Triangular	2,3	-1.6075	4.0274	0.7754	289	287	221.4480	0.7716
Triangular	2,5	0.7358	3.0342	0.6742	249	247	258.2038	1.0454
Triangular	2,8	-4.3029	5.0086	0.7194	186	184	242.5828	1.3184
Triangular	3	-3.5469	4.3885	0.8098	169	167	130.9614	0.7842
Triangular	3,3	-2.4481	3.9729	0.8	135	133	116.1577	0.8734
Triangular	3,5	-3.5085	4.3403	0.7291	111	109	136.1217	1.2488
Triangular	3,8	-3.4686	4.1605	0.8016	116	114	101.0401	0.8863
Triangular	4	-4.9397	4.7906	0.7531	93	91	93.7069	1.0297
A. cuadrado		-2.0554	3.9962	0.6554	1858	1856	3036.37	1.6360
A. triangular		-0.7977	3.6027	0.6312	2159	2157	3354.58	1.5552
Todos		-1.4986	3.8348	0.6379	4017	4015	6489.7597	1.68972

Nota : "a" es la intersección con el eje y, "b" es la pendiente de la función, "r" es la coeficiente de correlación entre las variables y n es la cantidad de pares de datos de altura-diámetro de cuello.

La relación entre altura y diámetro de cuello, representada por el cociente entre ambas variables, muestra una clara tendencia a aumentar a medida que aumenta la densidad del rodal; es decir, a medida que el espaciamiento disminuye los árboles se van haciendo menos cónicos (Figura 15).

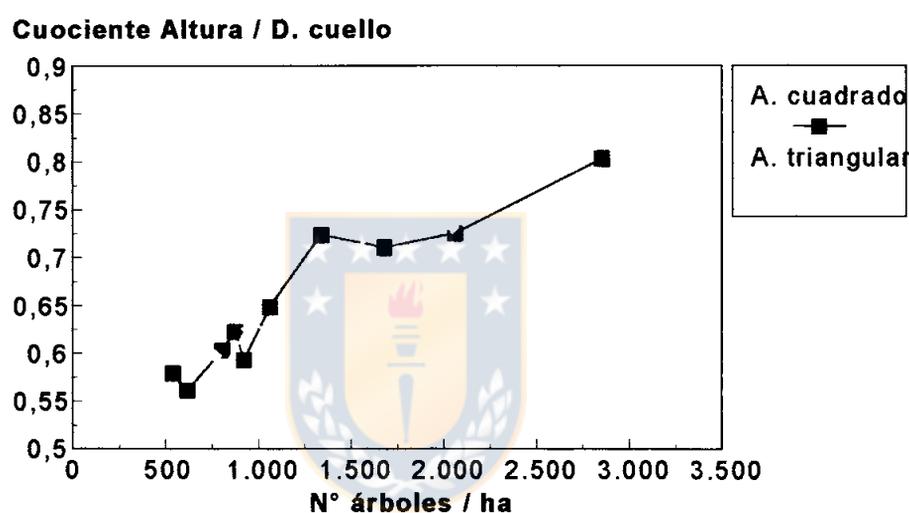


Figura 15. Variación del cociente entre altura y diámetro de cuello con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación.

5.5.1.2 Relación diámetro de copa - diámetro de cuello. Existe una relación lineal entre el diámetro de copa y el diámetro de cuello (Figura 16), pero un bajo nivel de correlación entre las variables (Tabla 8), lo cual podría estar explicado por los diferentes niveles de competencia de copas que están ocurriendo en las distintas combinaciones de arreglo y espaciamiento de plantación.

Las pruebas de F realizadas a los ajustes del modelo lineal por separado a cada combinación de arreglo y espaciamiento, a los datos de todos los espaciamientos dentro de cada arreglo y a los datos de todas las combinaciones de arreglo y espaciamiento de plantación (Tabla 8), muestran un efecto significativo del espaciamiento y arreglo de plantación sobre la relación entre las variables diámetro de copa y diámetro de cuello.

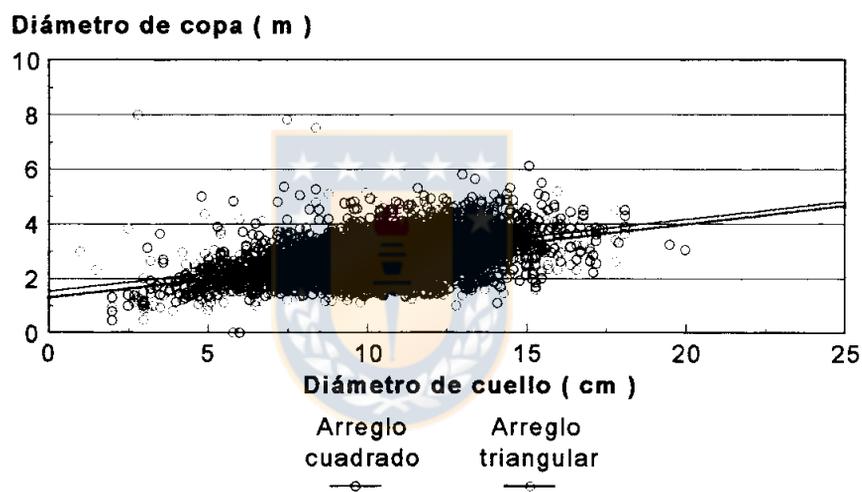


Figura 16. Representación de la función lineal ajustada para la relación entre diámetro de copa y diámetro de cuello, para cada arreglo de plantación.

El cociente diámetro de copa-diámetro de cuello tiende a disminuir con el aumento de la densidad de rodal, es decir, al disminuir el espaciamiento, lo cual indicaría que con espaciamientos mayores se puede obtener árboles con mayor proporción de copa (Figura 17).

5.5.1.3 Relación volumen - diámetro de copa. La relación entre volumen-diámetro de copa se ajustó mejor al modelo lineal, obteniéndose el menor error cuadrático medio y el mayor coeficiente de correlación respecto a los modelos exponencial y logarítmico, sin embargo, el nivel de correlación entre las variables fue el menor de las tres relaciones estudiadas (Tabla 9).

La Figura 18 muestra una pequeña separación entre las curvas ajustadas a cada arreglo de plantación en el rango menor de diámetro de copa, es decir, una pendiente diferente, lo cual podría indicar que existe un leve efecto del arreglo de plantación sobre la relación entre las variables.

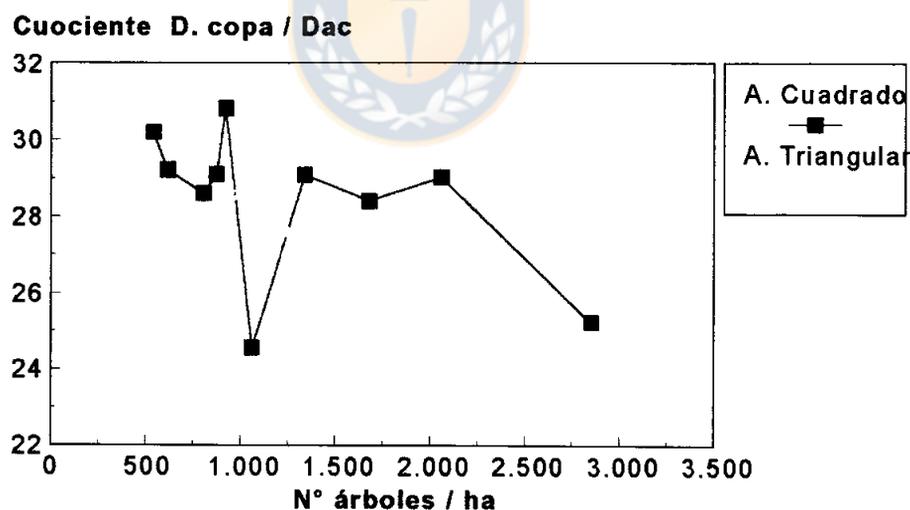


Figura 17. Variación del cociente entre diámetro de copa y diámetro de cuello con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación.

Las pruebas de F, realizadas a los ajustes del modelo para cada tratamiento, arreglo y en forma general, indican que existe efecto significativo del espaciamiento y arreglo de plantación sobre la relación entre volumen y diámetro de copa.

En la relación diámetro de copa-volumen, representada por el cociente entre ambas variables, se observan tendencias distintas para cada arreglo de plantación. Con arreglo triangular a medida que el número de árboles/ha aumenta, el cociente entre diámetro de copa y volumen disminuye. Con arreglo cuadrado, en cambio, no es posible establecer una tendencia definida (Figura 19).

5.5.2 Relaciones entre altura, diámetro de cuello y volumen con variables asociadas a los factores estudiados. Hubo cinco relaciones en las que se ajustaron los modelos entre los distintos niveles de espaciamiento y número de árboles por hectárea dentro de cada arreglo de plantación con las variables altura, diámetro de cuello y volumen (Tabla 11). Para estas relaciones se presentan solamente los resultados de los ajustes de los modelos que tuvieron la menor SCE, en cada relación, para todos los niveles de espaciamiento dentro de cada arreglo de plantación.

Se encontró un bajo coeficiente de correlación para estas relaciones (Tabla 11). Esto podría estar causado por la gran variación que existe en las variables altura, diámetro de cuello y volumen en relación a cada valor de espaciamiento y N° de árboles / ha.

TABLA 8. RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL A LA RELACION DIAMETRO DE COPA - DIAMETRO DE CUELLO, DENTRO DE CADA ESPACIAMIENTO EN CADA ARREGLO DE PLANTACION, PARA TODOS LOS DATOS DENTRO DE CADA ARREGLO Y DE UN AJUSTE GLOBAL CON LOS DATOS DE TODAS LAS COMBINACIONES DE ARREGLO Y ESPACIAMIENTO DE PLANTACION.

Arreglo de plantación	Espaciamiento (m)	a	b	r	n	Grados libertad error	Suma cuadrados error (SCE)	Media suma cuadrados error (MSCE)
Cuadrado	1,8	1.3945	0.1086	0.378	411	409	128,6082	0,31445
Cuadrado	2	2.0721	0.0735	0.2370	304	302	152,7937	0,50594
Cuadrado	2,3	1.5349	0.1342	0.4731	249	247	72,5434	0,2937
Cuadrado	2,5	1.7770	0.1138	0.4815	199	197	54,2388	0,27532
Cuadrado	2,8	2.9005	-0.0053	0.0173	153	151	89,2841	0,59129
Cuadrado	3	1.5595	0.1504	0.5378	126	124	50,1807	0,40468
Cuadrado	3,3	1.7070	0.1357	0.5648	133	131	43,5827	0,33269
Cuadrado	3,5	2.0371	0.1175	0.4906	116	114	37,7267	0,33094
Cuadrado	3,8	1.5665	0.1604	0.6011	89	87	26,4304	0,3038
Cuadrado	4	1.4775	0.1721	0.5863	78	76	36,0545	0,4744
Triangular	1,8	1.6389	0.0616	0.1778	451	449	219,6642	0,48923
Triangular	2	1.3819	0.1012	0.3750	360	358	1,3819	0,00386
Triangular	2,3	1.8986	0.0733	0.2962	289	287	93,8326	0,32694
Triangular	2,5	1.4837	0.1258	0.4869	249	247	73,0119	0,29559
Triangular	2,8	1.8857	0.1024	0.4175	186	184	51,3848	0,27927
Triangular	3	1.5664	0.1284	0.5219	169	167	49,2974	0,29519
Triangular	3,3	1.4829	0.1504	0.5353	135	133	50,0948	0,37665
Triangular	3,5	1.7472	0.1221	0.4817	111	109	42,78	0,39248
Triangular	3,8	1.3185	0.1464	0.6388	116	114	25,8217	0,22651
Triangular	4	1.7582	0.1211	0.4667	93	91	28,5369	0,31359
A. cuadrado		1.5238	0.1319	0.4498	1858	1856	830.666	0.4476
A triangular		1.2727	0.1355	0.4607	2159	2157	905.768	0.4199
Todos		1.3813	0.1346	0.4529	4017	4015	1782.1231	0.4439

Nota : "a" es la intersección con el eje y, "b" es la pendiente de la función, "r" es el coeficiente de correlación entre las variables y n es la cantidad de pares de datos de diámetro de cuello -diámetro de copa.

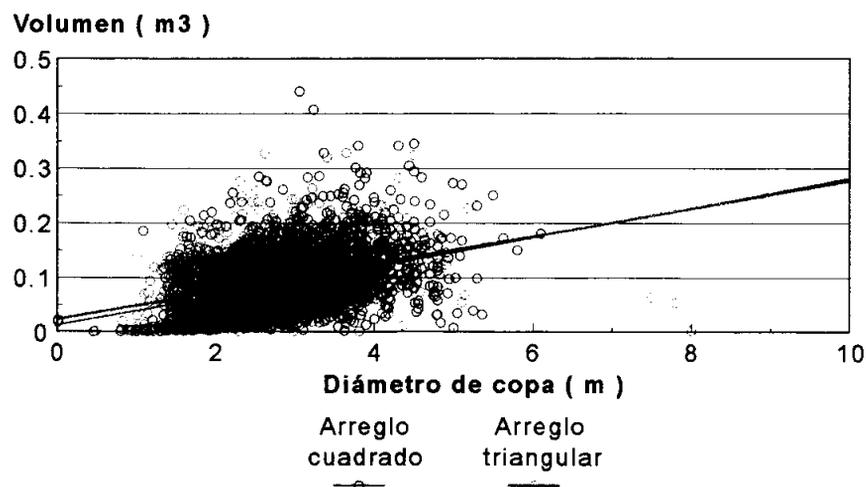


Figura 18. Representación de la función lineal ajustada para la relación entre volumen y diámetro de copa, para cada arreglo de plantación.

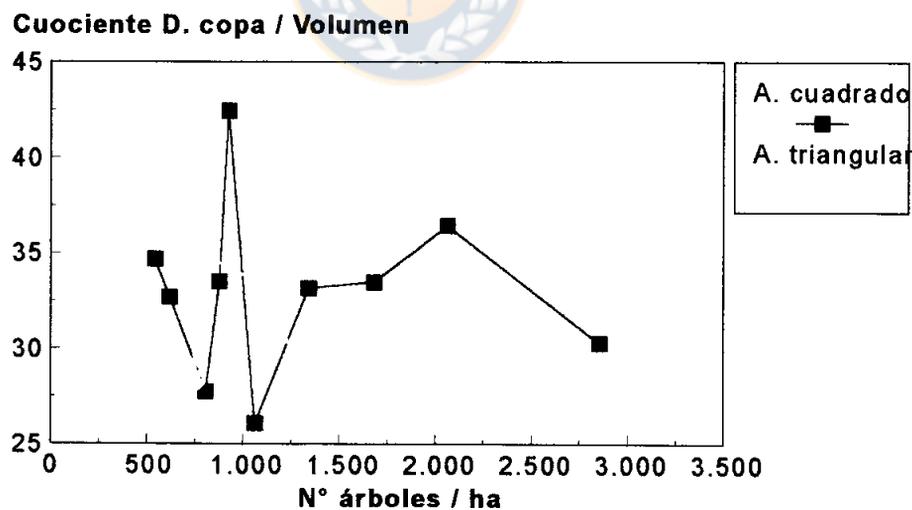


Figura 19. Variación del cuociente entre diámetro de copa y volumen con el aumento de la densidad de rodal, para cada arreglo de plantación.

TABLA 9. RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO LINEAL A LA RELACION VOLUMEN - DIAMETRO DE COPA DENTRO DE CADA ESPACIAMIENTO EN CADA ARREGLO DE PLANTACION, PARA TODOS LOS DATOS DENTRO DE CADA ARREGLO Y DE UN AJUSTE GLOBAL CON LOS DATOS DE TODAS LAS COMBINACIONES DE ARREGLO Y ESPACIAMIENTO DE PLANTACION.

Arreglo de plantación	Espaciamiento (m)	a	b	r	n	Grados libertad error	Suma cuadrados error (SCE)	Error cuadrático promedio (MSCE)
Cuadrado	1,8	0,02833	0,02169	0,3353	411	409	0,5572	0,0014
Cuadrado	2	0,04758	0,01169	0,1882	304	302	0,6017	0,0019
Cuadrado	2,3	-0,00574	0,03284	0,434	249	247	0,4344	0,0018
Cuadrado	2,5	-0,02286	0,03608	0,419	199	197	0,4317	0,0022
Cuadrado	2,8	0,1187	-0,00376	0,0488	153	151	0,5301	0,0035
Cuadrado	3	-0,03469	0,04064	0,5146	126	124	0,3237	0,0026
Cuadrado	3,3	-0,02745	0,03267	0,4406	133	131	0,2837	0,0022
Cuadrado	3,5	-0,06906	0,05665	0,43	116	114	0,7029	0,0062
Cuadrado	3,8	-0,06362	0,04897	0,554	89	91	0,0041	0,0026
Cuadrado	4	-0,05085	0,0438	0,5556	78	76	0,236	0,0031
Triangular	1,8	0,05715	0,00964	0,1787	451	449	0,6426	0,0014
Triangular	2	0,02653	0,02435	0,3373	360	358	0,6326	0,0018
Triangular	2,3	0,04875	0,01863	0,2155	289	287	0,733	0,0026
Triangular	2,5	-0,00386	0,03535	0,4746	249	247	0,4113	0,0017
Triangular	2,8	0,01977	0,02958	0,3043	186	184	0,5334	0,0029
Triangular	3	-0,01714	0,03605	0,4593	169	167	0,3293	0,002
Triangular	3,3	-0,01308	0,03448	0,5092	135	133	0,2384	0,0018
Triangular	3,5	-0,0259	0,04369	0,4825	111	109	0,3504	0,0032
Triangular	3,8	-0,06037	0,04933	0,6178	116	114	0,172	0,0015
Triangular	4	-0,01509	0,03395	0,4252	93	91	0,1905	0,0021
A. cuadrado		0,0120	0,02688	0,3690	1858	1856	4,7716	0,0026
A. triangular		0,02262	0,02555	0,3793	2159	2157	4,4667	0,0021
Todos		0,0196	0,02549	0,3678	4017	4015	9,2859	0,0023

Nota : "a" es la intersección con el eje y, "b" es la pendiente de la función, "r" es el coeficiente de correlación entre las variables de la función y n es la cantidad de pares de datos de volumen -diámetro de copa.

A medida que el número de árboles por hectárea aumenta, también lo hace la altura, lo cual se contrapone a lo que obtuvieron Bredencamp

(1987), Opie et al. (1984) y Walters (1980), quienes señalan que con el aumento de la densidad del rodal, la altura promedio disminuye. Esto puede estar explicado, por la diferencia en la edad de los ensayos citados por estos autores y la edad de este ensayo, entre los cuales difiere la proporción entre el período inicial, sin competencia, respecto a la edad del rodal, lo cual afecta el tiempo en que los árboles para las distintas combinaciones de arreglo y espaciamiento de plantación han estado bajo competencia; en este ensayo hay tratamientos donde la competencia aún no ha comenzado, lo que se aprecia dado el escaso cruzamiento de copas en los espaciamientos mayores.

TABLA 10. RELACIONES CUYA VARIABLE INDEPENDIENTE ESTA INCLUIDA EN LOS TRATAMIENTOS.

Relación	Variable relacionada
Altura - N° árboles / ha	N° árboles / ha
Diámetro de cuello - N° árboles / ha	N° árboles / ha
Diámetro de cuello - espaciamiento	Espaciamiento
Volumen - N° árboles / ha	N° árboles / ha
Volumen - espaciamiento	Espaciamiento

En el caso de las relaciones entre diámetro de cuello con espaciamiento y N° de árboles / ha los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Burguers (1976), Cremer et al. (1984), Cristie y Button (1991), Opie et al. (1984) Y Walters (1980) para especies del género

Eucalyptus, donde el diámetro de cuello aumenta con el aumento del espaciamiento o con la disminución del N° de árboles / ha.

En el caso de la relación entre volumen por árbol con el espaciamiento y N° de árboles / ha, los resultados obtenidos concuerdan con lo esperado de acuerdo a lo señalado en el punto 5.2.6, es decir que a medida que el espaciamiento aumenta o el N° de árboles / ha disminuye, el volumen por árbol aumenta.

TABLA 11. MODELOS SELECCIONADOS, SUS COEFICIENTES Y PARAMETROS, PARA CADA RELACION DENTRO DE CADA ARREGLO DE PLANTACION.

Relación	Modelo	Arreglo	a	b	r	n	Grados libertad error	Suma cuadrados error (SCE)	Error cuadrático promedio (MSCE)
Altura-n° árb/ha	Log	Cuadrado	2,1919	0,6884	0,2108	1858	1856	5086,5	2,7406
Altura-n° árb/ha	Log	Triangular	0,1275	0,9942	0,3107	2159	2157	5037,73	2,3355
Dac - Esp	Log	Cuadrado	8,2694	2,5203	0,254	1858	1856	11323,9	6,1013
Dac - Esp	Log	Triangular	8,2426	2,4429	0,2507	2159	2157	12455,2	5,7743
Dac-n° árb/ha	Lineal	Cuadrado	11,8782	-0,0008	0,2485	1858	1856	11357,9	6,1196
Dac-n° árb/ha	Lineal	Triangular	11,9037	-0,0007	0,26	2159	2157	12391,65	5,7449
Vol - Esp	Log	Cuadrado	0,06043	0,03326	0,1569	1858	1856	5,3879	0,0029
Vol - Esp	Log	Triangular	0,07142	0,02208	0,1143	2159	2157	5,1493	0,0024
Vol-n° árb/ha	Lineal	Cuadrado	0,1077	-0,0001	0,1508	1858	1856	5,3983	0,0029
Vol-n° árb/ha	Lineal	Triangular	0,1058	-0,00007	0,1304	2159	2157	5,1289	0,0024

Nota : "a" es la intersección con el eje y, "b" es la pendiente de la función, "r" es el coeficiente de correlación entre las variables de la función y n es la cantidad de pares de datos.

VI CONCLUSIONES

1. Existe interacción arreglo-espaciamento sobre las variables diámetro promedio de copa y área de proyección de copa por árbol.
2. El diámetro promedio de copa y área de proyección de copa por árbol son significativamente menores con espaciamento triangular que en espaciamento cuadrado cuando la densidad de plantación es inferior a 850 árboles / ha y superior a 1400 árboles / ha; la media de estas variables es significativamente mayor con densidades entre los 850 y 1400 árboles / ha , en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.
3. El diámetro de cuello, altura, volumen por árbol, volumen por hectárea, sección basal por árbol y sección basal por hectárea no son afectados por el arreglo de plantación en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.
4. En plantaciones de E. nitens a los tres años de edad, el espaciamento de plantación causa un efecto significativo sobre la altura de los árboles. A medida que el espaciamento aumenta, la altura promedio disminuye.

5. El espaciamiento entre árboles afecta significativamente al diámetro de cuello, volumen por árbol y sección basal por árbol en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad. Estas variables presentan un aumento en sus valores a medida que aumenta el espaciamiento.
6. El espaciamiento entre árboles causa un efecto significativo sobre volumen por hectárea y sección basal por hectárea en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad. Estas variables presentan una disminución en sus promedios a medida que el espaciamiento aumenta.
7. La relación altura - diámetro de cuello tiene un comportamiento logarítmico. La altura de los árboles aumenta en la medida que aumenta el diámetro de cuello, en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.
8. La relación altura - diámetro de cuello es afectada significativamente por el espaciamiento y arreglo de plantación, en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.
9. La conicidad de los árboles, representada por el cociente altura - diámetro, es afectada por el espaciamiento de plantación, obteniéndose una mayor conicidad a medida que el espaciamiento aumenta.
10. Las relaciones diámetro de copa - diámetro de cuello y volumen - diámetro de copa tienen un comportamiento lineal, con variaciones

directamente proporcionales, en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.

11. Las relaciones diámetro de copa - diámetro de cuello y volumen - diámetro de copa son afectadas significativamente por el espaciamiento y arreglo de plantación, en plantaciones de E. nitens a los tres años de edad.

12. En plantación de E. nitens a los tres años de edad, las relaciones entre altura - número de árboles por hectárea, diámetro de cuello - espaciamiento y volumen - espaciamiento, tienen un comportamiento logarítmico

13. Las relaciones diámetro de cuello - número de árboles por hectárea y volumen - número de árboles por hectárea tienen un comportamiento lineal en plantación de E. nitens a los tres años de edad.

VII RESUMEN

El presente estudio analiza el efecto de los factores espaciamiento, arreglo de plantación e interacción, sobre el crecimiento inicial de una plantación de Eucalyptus nitens (Deane et Maiden) en suelo trumao.

Mediante un experimento factorial con diseño de parcela dividida y bloques completos al azar, se evaluaron los efectos sobre variables de estado de rodal, como diámetro de cuello, altura total, y volumen, entre otras, así como su efecto sobre relaciones entre variables, tales como diámetro de cuello-altura total.

Los resultados obtenidos revelan que arreglo de plantación tiene un efecto significativo sobre diámetro de copa y proyección de copa por árbol, encontrándose una relación directa con espaciamiento. También muestran que espaciamiento causa un efecto significativo sobre todas las variables de estado de rodal evaluadas, encontrándose que la altura promedio disminuye con el aumento del espaciamiento, y que el diámetro de cuello y volumen aumentan con el aumento del espaciamiento. Se encontró también que existe un efecto significativo de ambos factores sobre las relaciones entre variables estudiadas, tales como altura-diámetro de cuello, que presentó un aumento del cociente altura/diámetro de cuello en la medida que disminuye el espaciamiento.

SUMMARY

The study analyze the effect of tree spacing, plantation arrangement (square and triangular) and interaction between them on initial growing (three year old) Eucalyptus nitens (Deane et Maiden) plantation in a trumao soil. The effect on stand attributes such as collar diameter, total height, crown diameter, crown projection area, basal section, volume and some relationship between them were evaluated through a factorial experiment with a split plot design and randomized complete blocks.

The results show that plantation arrangement has a significant effect on crown diameter and crown projection area and a direct relation with spacing. The spacing cause a significant effect on all stand attributes, such as a reduction on average height with bigger spacing. Collar diameter, volume and basal section are bigger with bigger spacing. Also show that both factors (spacing and plantation arrangement) cause a significant effect on the relationship total height - collar diameter: the height/collar diameter quotient increase as the spacing decrease.

VIII LITERATURA CITADA.

- 1.- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press. Hungary.
- 2.- Bredencamp, B. V. 1987. Effects of spacing and age on growth of Eucalyptus grandis on a dry Zululand site. South African Forestry Journal 140:24-28.
- 3.- Burgers, T.F. 1976. Management graphs derived from the correlated curve trend (C.C.T.) Projects. Bulletin 54. Issued by the Department of Forestry, South Africa.
- 4.- Coetzee, J. 1991. The influence of stand density on the yield of Eucalyptus grandis : A comparison between a good site and a poor site at age 4 years. Iufro symposium : Intensive forestry : The role of Eucalypts. Durban, South Africa.
- 5.- Cristie, S. and S. Button. 1991. The biomass production of Eucalyptus grandis planted at various close spacings. Iufro symposium : Intensive forestry : The role of Eucalypts. Durban, South Africa.

- 6.- Cremer, K.W.; R.N. Cromer and R.G. Florence. 1984. Stand establishment. pp. 81-135 In : W.E Hillis and A.G. Brown. (Editors) Eucalypts for wood production. CSIRO Australia / Academic Press, Australia.
- 7.- Cromer, R.N. 1993. Physiological attributes of Eucalyptus strategies to increase productivity. pp 129 - 142 En : S. Barros, J. Prado y C Alvear. (Editores) Simposio los Eucalyptos en el desarrollo forestal de Chile. Pucón, Chile.
- 8.- Daniel, P.W., U. E. Helms y F. S. Baker. 1979. Principios de Silvicultura. McGraw - Hill. México.
- 9.- Johnstone, W. D., and J. C. Pollack. 1990. The influence of spacing on the growth and development of a lodgepole pine plantation. Canadian Journal of Forest Research 20 : 1631 - 1639.
- 10.- Opie, J. E.; R. A. Curtin and W. D. Incoll. 1984. Stand management. pp. 179-187 In : W. E. Hillis and A. G. Brown. (Editors) Eucalypt for Wood Production. CSIRO Australia/Academic Press, Australia.
- 11.- Reukema, D. L. 1979. Fifty year development of Douglas-fir stands planted at various spacings. Res. Rap. PNW-253.

Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station. Portland, Oregon, USA.

- 12.- Schönau, A. P. G. and J. Coetzee. 1989. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management* 29: 245-266.
- 13.- Seidel, K. W. 1989. A ponderosa pine - lodgepole pine spacing study in central oregon : results after 20 years. Res. Rap. PNW-RP- 410. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest Research Station. Portland, Oregon, USA.
- 14.- Steel R. G. D. y J. H. Torrie, 1988. *Bioestadística : principios y procedimientos*. McGraw - Hill. México.
- 15.- Vaan Laar, A. 1982. The response of Pinus radiata to initial spacing. *South African Forestry Journal* 121 : 52-63.
- 16.- Walters, G. A. 1980. Saligna Eucalypt growth in a 15 year old spacing study in Hawaii. Res. Paper PSW-151. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. U.S. Forest Service, Dep. Agric., Berkeley, California, USA.

IX ANEXOS

9.1 Anexo 1

9.1.1 Descripción del lugar del ensayo.

9.1.1.1 Antecedentes generales

Lugar : Predio Las Acacias

Comuna : Mulchén

Provincia : Bio-bio



9.1.1.2 Topografía

Forma terreno : Plano a ligeramente ondulado

Posición fisiográfica : Plano

Ubicación en relieve : Fondo de Valle

Pendiente : suave, 3 a 5 %

Drenaje : Lento

Estrato Arbóreo : Ensayo de espaciamiento de Eucalyptus nitens de 3 años

Uso anterior : Cultivo agrícola anual (trigo, avena, raps) o pradera

9.1.2 Descripción del perfil.

9.1.2.1 Hojarasca.

TABLA 1A : ESPESOR, TIPO DE MATERIAL, ESTRUCTURA, ARRAIGAMIENTO Y ASPECTO DEL HORIZONTE ORGANICO.

Hori-zonte	Espesor	Material	Estructura	Arraigamiento	Aspecto humus y activ. biológica
O 1	0 a 2 cm	hojas <u>E.nitens</u> malezas gramineas.	Suelta	Común (5 a 10 raíces/dm ²)	Humus mullido sin actividad biológica aparente

9.1.2.2 Suelo mineral.

TABLA 2A : CONTENIDO DE RAICES, ESTRUCTURA, CONSISTENCIA, TEXTURA, ESQUELETO, COLOR Y CONTENIDO DE HUMUS, EN CADA HORIZONTE DE SUELO MINERAL.

Hori-zonte	Prof. (cm)	Contenido raíces finas	Estruc-tura	Consis-tencia	Tex-tura	Esque-letto	Color	Cont. humus
A 1	0 a 45	Alta cantidad raíces	Granular	Liger. duro	Franco	1 %	Pardo oscuro	Modera-do
A 2	> 45	Leve	Granular	Liger. duro	Franco	1 %	Pardo claro	Pobre

TABLA 3A : MOTEADO, CONCRESIONES, ACTIVIDAD BIOLÓGICA U OTROS EN CADA HORIZONTE MINERAL.

Horizonte	Moteado, concreciones, actividad biológica, otros.
A 1	Moteado : Tenue Concreciones : Muy bajo (Fe) Actividad biológica : gusano blanco y cuncunilla negra de las empastadas.
A 2	Moteado : tenue Concreciones : bajo (Fe) Sin actividad biológica

Material de Origen : cenizas volcánicas

Drenaje interno : moderado

Nivel freático : profundo

Grado de erosión : sin erosión

Profundidad fisiológica : muy profundo

Profundidad de raíces : muy profundas

Capacidad de uso : I

Factores limitantes : malezas



9.1.2.3 Estatus nutricional

TABLA 4A : ANALISIS QUIMICO DEL HORIZONTE A1.

Elemento	Unidad	Cantidad
Nitrógeno	ppm	11
Fósforo	ppm	8
Potasio	ppm	96
Calcio	ppm	3,15
Zinc	meq	1,3
Fierro	meq	4,6
Cobre	meq	4,6
Boro	meq	0,5
Manganeso	meq	23,5
Magnesio	meq	0,94
Sodio	meq	0,18
p H	---	5,9
Materia orgánica	%	13,5

9.2 Anexo 2

9.2.1 Descripción de las características climáticas de la zona.

9.2.1.1 Antecedentes generales.

Lugar : Predio Las Acacias

Comuna : Mulchén

Provincia : Bio-bio

Fuente : registros de la estación meteorológica del predio Verdún, de Forestal Angol Ltda., ubicado a 14 Km del ensayo. Se presentan registros desde Octubre de 1992 (fecha de instalación del ensayo) a Marzo de 1995 (fecha de medición y evaluación del ensayo).

9.2.2 Régimen de temperaturas.

9.2.2.1 Extremas anuales

TABLA 1B : TEMPERATURAS EXTREMAS Y MES DE OCURRENCIA.

Item	Mes	T° min prom/mes	T° max prom/mes	T° prom/mes
Mes más frío	Julio	2,9 ° C	11,4 ° C	7,2 ° C
Mes más cálido	Enero	11,7 ° C	27,2 ° C	19,4 ° C

9.2.2.2 Variación anual de temperatura

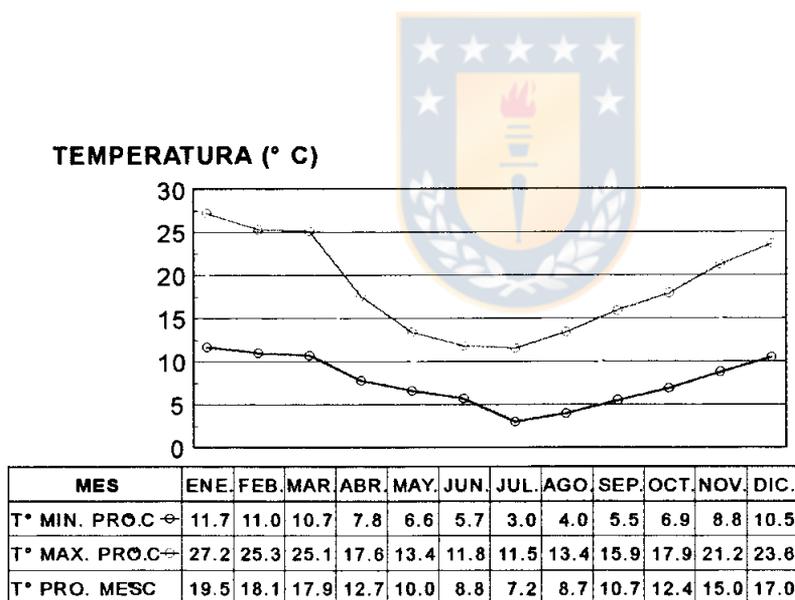


Figura 1B : Variación mensual de los promdios de temperatura máxima, mínima y promedio mensual entre Octubre de 1992 y Marzo de 1995.

9.2.3 Régimen de precipitación.

9.2.3.1 Extremas anuales

TABLA 2B : EXTREMAS EN REGIMEN DE PRECIPITACION Y MES DE OCURRENCIA.

Item	Mes	Precipitación (mm)
Meses más lluviosos	Mayo - Junio	380,1 - 332,4
Meses más secos	Enero - Febrero	8,1 - 10,6
Total anual promedio		1.588,3

9.2.3.2 Distribución anual de la precipitación.

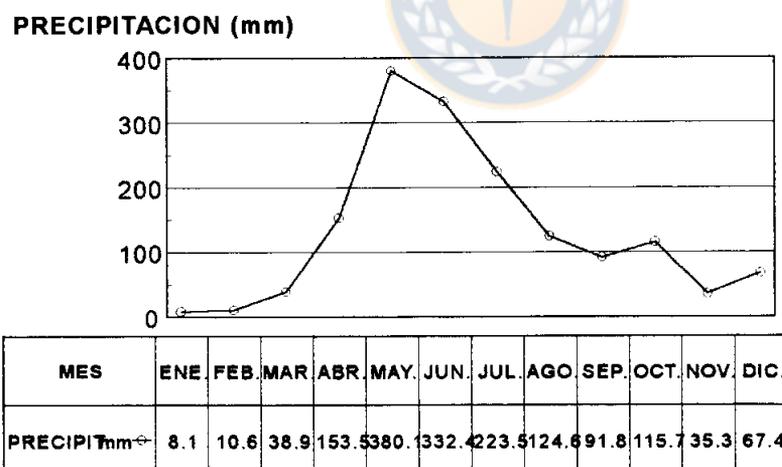


Figura 2B : Distribución anual de la precipitación expresada en milímetros por mes, entre Octubre de 1992 y Marzo de 1995.

