

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Departamento Silvicultura



"EFECTOS DE LA FERTILIZACION Y DOS REGÍMENES DE RALEO
SOBRE EL INCREMENTO EN AREA BASAL Y ALGUNAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LA MADERA DE *Pinus*
radiata D.DON"

Por

GONZALO HERNAN PUENTES SOTO

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

Concepción-CHILE

1996

**"EFECTOS DE LA FERTILIZACION Y DOS REGÍMENES DE RALEO
SOBRE EL INCREMENTO EN AREA BASAL Y ALGUNAS
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LA MADERA DE Pinus
Radiata D.DON"**

Profesor Asesor



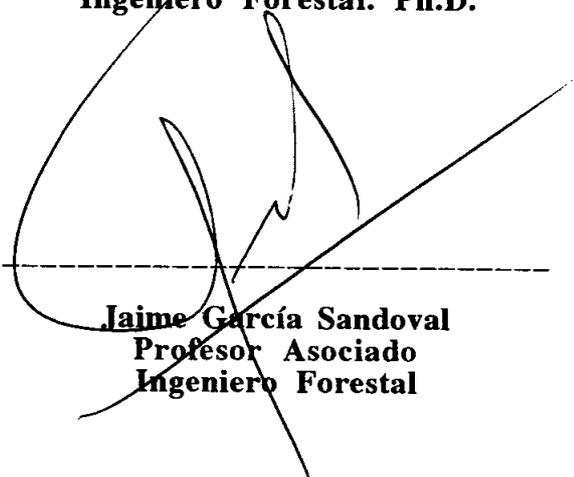
**Miguel Espinosa Bancalari
Profesor Asociado
Ingeniero Forestal. Ph.D.**

**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 Padre

A Chillán

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis profundos agradecimientos a todos quienes estuvieron involucrados apoyándome y alentándome, tanto directa como indirectamente, para alcanzar este importante desafío profesional y personal. En particular quiero agradecer a las siguientes personas:

A mi profesor asesor Don Miguel Espinosa B. por toda su cooperación y atención en las distintas etapas que incluyó mi memoria, y por la amistad brindada, mas allá de las aulas, durante una importante parte de mi vida universitaria.

A la empresa Forestal Mininco S.A. quien patrocinó y aportó todos los recursos necesarios para que el estudio que dió origen a mi memoria de título culminara exitosamente. Deseo representar los agradecimientos en la persona de José Alvarez M. quien dentro de la empresa me entregó todo su respaldo y confianza en la ejecución del estudio y en quien, además, encontré un gran amigo.

Al profesor Don Roberto Melo quien aportó sugerencias y criterios técnicos, tanto en el planteamiento metodológico, como en la corrección del texto final de mi memoria.

Al profesor Don Gastón González quien, desde su labor como integrante de la comisión de anteproyecto, seminario II y finalmente de examen de grado, me entregó amplios aportes en la formulación inicial, desarrollo y corrección de mi memoria de título.

A Gonzalo Carrasco A. (Chapu) quien como gran amigo y colega colaboró en el procesamiento de datos y análisis estadístico generado por mi memoria.

A mis grandes amigos y compañeros de casa en Chillán Ernesto, Guillermo, Chapu, Mauricio, Rob y Andrés quienes estuvieron permanentemente a mi lado estimulándome y apoyándome para conquistar esta ansiada meta y con quienes compartí en la Universidad la alegría, amistad y cariño de tantas experiencias juntos.

Y especialmente a todos mis amigos y compañeros de Universidad con los cuales viví y sentí los hasta ahora mejores momentos de mi vida.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS		PAGINA
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA	4
III	OBJETIVOS	13
	3.1 General	13
	3.2 Específicos	13
IV	METODOLOGIA	15
	4.1 Descripción del sitio del ensayo	15
	4.2 Descripción del ensayo	15
	4.3 Obtención de las muestras	17
	4.4 Análisis de laboratorio	18
	4.5 Procesamiento de la información	21
V	RESULTADOS Y DISCUSION	23
VI	CONCLUSIONES	37
VII	RESUMEN	39
VIII	SUMMARY	40
IX	BIBLIOGRAFIA	41

CAPITULOS

PAGINA

X ANEXO

47



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
1	Efecto que la fertilización puede tener sobre algunas características de la madera (según Briggs y Smith, 1993).	12
2	Tratamientos para el ensayo de fertilización	17
3	Valores promedio de densidad básica de la madera por tratamiento de fertilización (g/cm ³) para densidades de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea.	23
4	Valores promedio de densidad básica (g/cm ³) y porcentaje madera de verano (%) para densidades de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea	24
5	Valores promedio de densidad básica de la madera (g/cm ³) de todo el árbol por tratamiento de fertilización para densidades de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea.	25
6	Valores promedios de porcentaje de madera de verano (%) por tratamiento de fertilización para densidades de raleo de 400 y 1000 árboles por hectárea.	26
7	Valores promedio del porcentaje de madera de verano (%) de todo el árbol por tratamiento de fertilización para densidades de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea	28
8	Antecedentes de inventario del ensayo de fertilización proveniente de bosque de pino radiata de 14 años de edad para densidades de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea.	29
9	Resultado del análisis de las propiedades físicas (longitud de traqueida) y químicas (celulosa, lignina y extraíbles) de la madera para los distintos tratamientos de fertilización y raleo.	32

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
1	Incremento en área basal (m ² /ha) en el período 1987-1994 para densidad de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea	31
2	Longitud de traqueidas (mm) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo	33
3	Contenido de celulosa (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo	34
4	Contenido de lignina (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo	35
5	Contenido de extraíbles en DCM (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo	36

I. INTRODUCCION

Dentro de los procesos de obtención de madera destinada para la industria de la pulpa y el papel y para la elaboración de madera aserrada, el manejo del bosque juega un rol fundamental en lo que será la calidad de la materia prima obtenida. Dicha calidad estará determinada por la finalidad de cada material, ésto es que las características o propiedades que la madera debe reunir para una óptima utilización debieran estar en consonancia con su objetivo final de producción.

Como resultado de los diferentes crecimientos de los árboles dentro de un bosque, las propiedades de la madera frecuentemente son afectadas. Los cambios que se producen en la madera no son siempre predecibles, y los silvicultores no pueden asegurar siquiera si uno de ellos ocurrirá. La mayoría de los forestadores asume que un patrón de crecimiento variado, que resulta a partir del manejo del bosque, no afectará la madera producida. Esta actitud se ha desarrollado largamente debido a que existen pocos estudios que hayan profundizado lo suficiente para determinar el verdadero efecto de las actividades silviculturales en la madera (Zobel y Buijtenen, 1989).

En Chile, la fertilización y el raleo, al igual que la poda, el control de malezas, y la preparación de sitio, son prácticas silvícolas recurrentes dentro de los esquemas de manejo actuales aplicados a los bosques de producción. El efecto combinado que la fertilización y el raleo ejercen sobre el crecimiento en área basal y volumen está ampliamente validado a través de innumerables estudios (e.g. Cown, 1972, 1973;

Ballard, 1978; Mead y Gadgil, 1978, Mead, 1990). Sin embargo, no ocurre lo mismo en relación a su efecto sobre las propiedades físicas y químicas de la madera, las que determinan a la postre, si los incrementos en área basal y volumen se correlacionan o no con la obtención de madera de mayor calidad.

Las propiedades físicas de la madera como densidad, dimensiones de traqueida, proporción de madera de primavera y verano, humedad u otras se ven afectadas al aplicar manejo a los bosques. Lo mismo ocurre con algunas propiedades químicas tales como contenido de celulosa, contenido de lignina y contenido de extraíbles.

Para la selección de especies con patrones deseables, por ejemplo de variación de densidad, los forestadores pueden jugar un importante rol en mejorar esa propiedad de la madera y los procesos que influyen en ella. La densidad de la madera no sólo debería ser considerada en la selección de una especie para forestación sino también en la selección de la fuente de semilla y subsecuentes programas de mejoramiento de los árboles. Frecuentemente estos programas están basados en el vigor del árbol y su forma tomados en cuenta aisladamente, sin considerar la densidad de la madera u otras propiedades de la madera determinantes en su calidad (Hasslett et al., 1990).

El raleo, desde un punto de vista técnico, se asocia a la fertilización de modo que ambas produzcan el mayor efecto sobre el crecimiento en área basal y volumen de los árboles. El raleo produce un aumento en la proporción del incremento en volumen el que se acumula cerca de la base del tronco disminuyendo a lo largo de éste (Cown, 1973).

El presente estudio tiene como objetivos evaluar los efectos de la fertilización y de dos regímenes de raleo sobre algunas propiedades físicas y químicas de la madera de pino radiata y determinar su correlación con el incremento en área basal.



II. REVISION BIBLIOGRAFICA

Los usos de la madera son muy variados y entre ellos se cuentan su empleo como combustible, fabricación de enseres, obtención de pulpa y papel, y su aplicación en la industria de la construcción. Existe para cada producto un cierto tipo de madera que posee características óptimas de calidad, desde el punto de vista específico de su utilidad; así pues, la definición del término calidad de madera varía según el uso final de cada material. Las propiedades reales de una madera, que la hacen más o menos útil para un producto en especial, dependen principalmente de su densidad, de la longitud de fibra, del espesor de la pared de sus células y de su contenido de celulosa y lignina (Daniel et al., 1982).

La utilidad de la madera a partir de coníferas exóticas depende del producto a producir. Productos especiales tales como papel de escribir, papel de seda y papel de diario pueden ser fabricados eficientemente a partir de la madera proveniente de plantaciones de coníferas jóvenes que tienen una alta proporción de madera juvenil. Sin embargo, una alta proporción de madera juvenil no es deseable para productos de madera sólida o papeles que requieren alta resistencia al rasgado; para estos usos, la madera de plantaciones de madera joven es usualmente inferior (Dvorak y Zobel, 1985, Zobel, 1985, citados por Zobel et al., 1987).

La influencia sobre las propiedades de la madera tiene su origen en el efecto combinado que ejerce el ambiente, la genética y la tasa de crecimiento de un árbol o bosque (Daniel et al, 1982). La modificación de estos factores a partir del manejo que se aplica a los

bosques a lo largo de su período de rotación, esto es, selección de semillas, preparación de suelo, técnica de plantación, fertilización, poda y raleo y otras, influyen en las propiedades de la madera y consecuentemente en su calidad. Briggs y Smith (1986) indican que las prácticas silviculturales afectan mayormente las propiedades de la madera por modificación ambiental, la cual en rigor afecta el vigor de la copa.

Abundante literatura existe acerca de los efectos de los tratamientos silviculturales sobre volumen del cultivo y calidad de la madera en un sentido amplio, es decir, tamaño de trozos y grado de retorno económico, pero información sobre sus efectos en las propiedades intrínsecas de la madera son escasas (Cown, 1972).

Las manipulaciones silviculturales pueden ser de varios tipos: (1) Cambios del status nutricional incluida la fertilización, (2) control del crecimiento, a través de la plantación inicial o el raleo, (3) poda, y (4) actividades misceláneas tales como técnicas de plantación, resinación, u otros. Los silvicultores también pueden manipular la edad de cosecha, un aspecto muy importante en las propiedades de la madera (Zobel y Buijtenen, 1989).

Dentro de éstas actividades silvícolas, en Chile, el raleo y últimamente la fertilización corresponden a prácticas habituales dentro de los esquemas de manejo de plantaciones de *Pinus radiata* (pino radiata). Sus efectos en el crecimiento en área basal y volumen están validado por numerosos estudios (e.g. Cown, 1973; Cown y McConchie, 1982; Burgos y Toro, 1994). Sin embargo, no ocurre lo mismo en relación a su efecto sobre las

propiedades de la madera (Bamber y Burley, 1983), hecho que permitiría revelar si los altos rendimientos volumétricos van acompañados de los rendimientos que se generan a partir de la obtención de madera de mayor calidad. Determinar esta relación es de real importancia para la definición de un adecuado esquema de fertilización y raleo, en este caso, de acuerdo al producto final que se desea obtener.

En primer término hay que definir cuales son las propiedades de la madera más ampliamente reconocidas y luego su relación con la fertilización y el raleo. Cown y Harris (1991) mencionan como propiedades básicas de la madera densidad, contracción, humedad, porcentaje de madera de verano (o tardía), ancho de anillo y contenido de extraíbles. Además indican otras propiedades que pueden ser incluídas en estudios de calidad de madera como son dimensiones de traqueidas, porcentaje o número de anillos del duramen, desarrollo de madera de compresión, desarrollo de grano en espiral y frecuencia y causas de defectos. Estas propiedades de la madera coinciden, como propiedades básicas, a las mencionadas en estudios de Bamber y Burley (1983), Cown et al.(1984), Briggs y Smith (1986), Cown (1992) y Maclaren (1993).

Los tratamientos silviculturales pueden tener un efecto significativo sobre las propiedades de la madera de algunas especies de coníferas (Zobel et al., 1987). El valor de la fertilización debe incluir tanto el aumento en volumen como los cambios en las propiedades de la madera (Zobel y Buijtenen, 1989).

La fertilización en particular contribuye a la modificación de las propiedades de la madera de pino radiata. Estudios realizados por Bamber et al. (1982) y McKimm y Hic (1987), en Eucalyptus, muestran el efecto sobre algunas propiedades de la madera derivado de la combinación de preparación de sitio, humedad, control de insectos y fertilización.

La adición de fertilizantes en pino radiata puede resultar, frecuentemente, en un aumento dramático en la tasa de crecimiento acompañado por cambios en las propiedades de la madera. Estos cambios no son permanentes, sino mientras dure la última respuesta al fertilizante, esto es usualmente menos de 5 años (Cown, 1992).

Las propiedades de la madera más importantes y que tendrían relación con la fertilización y en general con las actividades que provocan aceleración de crecimiento son densidad, longitud de traqueidas y porcentaje de madera de verano (Nelson et al., 1980, Kibblewhite, 1980, citados por Cown y Kibblewhite, 1980).

La densidad es considerada la propiedad más importante y determinante en el uso final de la madera (Cown, 1980; Cown y Kibblewhite, 1980; Cown y Harris, 1991). Prueba de esto es su relación con varias otras características de la madera como son resistencia, rigidez y dureza (Maclaren, 1993).

Los tratamientos silviculturales pueden influenciar la densidad de la madera en alguna extensión, aunque el efecto es usualmente menor en comparación con la inherente variabilidad dentro y entre los árboles (Cown et al., 1991).

Con la fertilización, la tendencia general es que la densidad disminuya debido a la reducción relativa de producción de madera tardía. Sin embargo, las tasas de disminución dependen de los productos aplicados, esto es si la fertilización se basa en fósforo, nitrógeno, potasio u otro elemento (Bamber y Burley, 1983). Al respecto Cown et al. (1991), señalan que de 10 parámetros incluidos de nutrientes del suelo, solamente el nitrógeno superficial, fósforo (P-Olsen), y el pH parecen tener alguna influencia en la densidad de la madera. Los fertilizantes nitrogenados causan los más grandes cambios en las propiedades de la madera. A veces la combinación de nitrógeno más fósforo también causa variación. La mayoría de los otros nutrientes tienen sólo un relativamente pequeño efecto sobre la madera, aunque con algunas especies, el fósforo en forma aislada tiene un efecto considerable (Zobel et al., 1989).

La densidad de la madera a partir de plantaciones que crecen en rotaciones de 10 a 20 años, puede ser significativamente más baja que en aquellas provenientes de rodales naturales (Haslett et al., 1990).

Varios autores han registrado una disminución en la densidad de madera debido a la aceleración del crecimiento (Gerischer y de Villiers, 1963, citados por Cown, 1972), pero muchos otros no han encontrado alguna relación consistente entre tasa de crecimiento y densidad de madera (Spurr y Hsiung, 1954, Fielding y Brown, 1961, citados por Cown, 1972). Briggs y Smith (1986) señalan una disminución de 5 a 15% en densidad de la madera por efecto de la mayor tasa de crecimiento de acuerdo a una recopilación de estudios sobre el tema para pino radiata.

Maclaren (1993) señala que el aumento en la tasa de crecimiento derivado de la fertilización es de poca consecuencia en la determinación de la densidad de madera en pino. Sin embargo, McKinnell (1970) menciona que existe un considerable efecto de la fertilización sobre la densidad de la madera.

Las operaciones silviculturales tales como la fertilización, son frecuentemente combinadas con el control del crecimiento mediante el raleo, el cual afecta el desarrollo de la copa como también el régimen de nutrientes y humedad en el bosque (Zobel et al., 1989). Al respecto, el aumento en la tasa de crecimiento producto del raleo no produce cambios consistentes en las propiedades de la madera (aunque hay frecuentemente una pequeña disminución en densidad de la madera) (Cown, 1992). Sin embargo, Cown (1973) en otro estudio encontró diferencias de un 8% a 10% en la densidad básica de la madera de pino radiata producto de regímenes de raleo distintos.

Aunque la combinación de fertilización y raleo aumenta la tasa de crecimiento y frecuentemente disminuye la densidad de la madera, esta reducción es primeramente asociada con la fertilización y no ocurre siguiendo el raleo por sí solo (Zobel et al., 1989).

Con respecto al porcentaje de madera tardía (verano), Cown (1991) determinó que la madera producto de una aceleración de crecimiento por efecto de fertilizantes resultó similar a la que proviene de un bosque con crecimiento normal, tratándose éste de un rodal vigoroso. A partir de esto se puede deducir que en rodales deficientes hay un aumento en la proporción de madera tardía (Bamber y Burley, 1983). El porcentaje de

madera tardía guarda directa relación con la densidad de la madera y por efecto de altas tasas de crecimiento puede disminuir dando una inmediata reducción en densidad de hasta un 15% (Cown, 1992).

McKinnell (1970) determinó en pino radiata que tanto el crecimiento de madera temprana como de madera tardía fueron estimulados por la fertilización, pero especialmente el primero, resultando en una disminución del porcentaje de madera tardía y densidad media.

La relativa proporción de las así llamadas madera temprana y madera tardía se han convertido en un factor importante que influencia la calidad de la madera. Sin embargo, hasta hace un tiempo, los métodos que definen madera tardía han sido insatisfactorios (Harris, 1969, citado por Cown, 1972).

Otra propiedad de la madera importante en su relación con la tasa de crecimiento es la longitud de traqueidas (Cown, 1980). Como lo señala Corson (1991), las características de las traqueidas otorgan importantes propiedades a la fibra utilizada en la industria de la pulpa y el papel y que pueden ser influenciadas por las prácticas de manejo forestal que determinan la relativa proporción de madera juvenil y madera madura en el tronco.

La longitud de la traqueida puede disminuir en proporción a la aceleración de crecimiento por sobre el 25% (Cown, 1992). De acuerdo a lo mismo Bamber y Burley (1983) señalan que es aceptado, en general, que la longitud de la fibra y traqueida se relacionan

negativamente con la tasa de crecimiento debido a los cambios en los patrones de división celular. Esta propiedad junto con la densidad y el ángulo de la fibra en la madera tienen un gran impacto sobre la mayoría de los productos de madera (Briggs y Smith, 1986).

Otros autores señalan una relación inversa entre longitud de traqueida y tasa de crecimiento (Bisset et al., 1951, Bannan, 1970, citados por Cown, 1972), como también una relación inversa entre longitud de traqueida y ancho de anillos (Cown, 1972, 1973, citados por Cown, 1973). Cown (1973) ha estimado en pino radiata una menor longitud de traqueidas de un 10% o más producto de distintos regímenes de raleo.

Una excepción a la disminución usual en peso específico después de la fertilización puede ocurrir en sitios que son altamente deficientes en nutrientes y están produciendo traqueidas de bajo desarrollo con anormal grosor de las paredes celulares, condición a veces referida como **inanición** de la madera (Briggs y Smith, 1986). Los fertilizantes mejoran el vigor de la copa y follaje, permitiendo producción de traqueidas más normales; tanto árboles jóvenes como maduros muestran un aumento en peso específico como también un aumento en el ancho del anillo (Bamber y Burley, 1983).

Muchas otras propiedades y características de la madera han sido prueba de estudio y análisis con resultados disímiles; Briggs y Smith (1986) resumieron los efectos de la fertilización sobre las coníferas en general, para un gran número de ellas (Tabla 1).

TABLA 1. EFECTO QUE LA FERTILIZACION PUEDE TENER SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA MADERA (Según Briggs y Smith, 1986).

Característica		Efectos
Nudos		Más grandes y sanos
Anillos		Aumento abrupto
Madera juvenil		Ensanchamiento
Madera compresión		Aumento
Conicidad		Aumento o sin cambio
Grano espiral		Aumento
Torcidez		Sin efecto
Peso específico (densidad)		5 a 15 % de disminución (excepto sitios deficientes)
Angulo de fibra		Aumento
Dimensión células	Longitud:	Pequeña disminución
	Díametro:	Aumento
	Grosor pared:	Disminución

En relación al efecto que tiene la fertilización y el raleo en el crecimiento en área basal y en volumen se han registrado innumerables estudios. Por ejemplo, en Chile, Burgos y Toro (1994) señalan que la aplicación de fertilizantes, poco después de haber finalizado el raleo, contribuye a obtener crecimientos adicionales en volumen, obteniéndose retornos financieros que justifican plenamente esta actividad. En un ensayo de raleo y fertilización en pino de 9 años se lograron crecimientos adicionales en volumen y área basal de un 36% y 32%, respectivamente.

León (1994) determinó el efecto de la fertilización de precosecha en el crecimiento en volumen de un rodal de pino radiata de 20 años. Los resultados demostraron que la aplicación de fertilizantes genera ganancia en área basal y volumen debido a un mejoramiento en la forma del árbol, que se hace más cilíndrico.

III. OBJETIVOS

3.1 General

- Evaluar los efectos de la fertilización y de dos regímenes raleo sobre algunas propiedades físicas y químicas de la madera de pino radiata y determinar su correlación con el incremento en área basal.

3.2 Específicos

- Determinar las propiedades físicas de la madera densidad básica, porcentaje de madera de verano y longitud de traqueida.
- Determinar las propiedades químicas de la madera contenido de celulosa, lignina y extraíbles.
- Determinar el incremento en área basal (IAB) de los árboles por tratamiento de fertilización y densidad de raleo.
- Comparar los IAB obtenidos por tratamiento de fertilización y densidad de raleo y relacionarlos con los resultados generados por el análisis de las propiedades físicas y químicas de la madera de pino radiata.

IV. METODOLOGIA

4.1 Descripción del sitio del ensayo

El ensayo "efectos de la fertilización y de dos regímenes de raleo sobre el incremento en área basal y algunas propiedades físicas y químicas de la madera de *Pinus radiata* D.Don" se estableció en el predio San Rafael, de propiedad de Forestal Mininco S.A., ubicado a 17,5 km al sur de Nacimiento (VIII región). Las coordenadas del predio son 37°40' de latitud y 72°43' de longitud entre los 400 y 500 msnm.

El suelo sobre el cual está la plantación en estudio corresponde a la serie San Esteban y es de tipo granítico, de textura franco-arcillosa, profundidad media y bajo contenido de materia orgánica. La superficie del ensayo es de 7,2 ha.

En relación al clima, la precipitación media histórica registrada por la estación meteorológica que la empresa posee en Renaico (20 km del sitio del ensayo) es de 900 a 1200 mm en el año. La temperatura media histórica en los meses de verano e invierno en el sitio del ensayo es de 19°C y 7°C, respectivamente.

4.2 Descripción del ensayo

El ensayo "efectos de la fertilización y de dos regímenes de raleo sobre el incremento en área basal y algunas propiedades físicas y químicas de la madera de *Pinus radiata* D.Don"

se instaló en Agosto de 1986 en un rodal de pino radiata establecido el año 1980 con una densidad inicial de la plantación de 1667 árboles/ha.

Al momento de establecido el ensayo se efectuó un raleo que redujo la densidad de plantación a 400 y 1000 árboles/ha. Los árboles fueron podados por primera vez, junto con el raleo, a 1,40 m de altura y en el verano de 1987 los árboles recibieron un levantamiento de poda para eliminar el 70% de la copa verde.

La aplicación de fertilizantes se realizó durante Agosto de 1986. La forma de aplicación de los fertilizantes fue al voleo a un metro aproximadamente de la base del árbol. Para el tratamiento que consideró semilla de lupinus, éstas se sembraron superficialmente. La plantación escogida para el estudio presentaba un crecimiento considerado normal sin deficiencias nutricionales visibles y libre del ataque de patógenos.

Las primera medición del ensayo se efectuó a inicios del año 1987 y ésta consideró la variable diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles. Posteriormente, cada 2 años se midió a los árboles sólo el DAP con excepción del año 1994 en que se les midió además la altura total a todos los árboles.

El diseño experimental utilizado corresponde a un Diseño de Bloques Completamente al Azar con 3 bloques de parcelas experimentales, cada uno con 14 parcelas de 500 m² (20*25 m), donde se combinan 2 densidades de raleo (400 y 1000 árboles por hectárea) y 7 tratamientos de fertilización, respectivamente (Tabla 2).

TABLA 2. TRATAMIENTOS PARA EL ENSAYO DE FERTILIZACION.

Tratamientos	Urea g/árbol	BNC g/árbol	SFT g/árbol	SK g/árbol	Otros
Testigo	---	---	---	---	---
LPB	---	25	250	---	300 g lupino/parcela
NPBK	500	25	250	250	---
NB	500	25	---	---	---
NPB1	500	25	250	---	---
NPB2	500	25	250	---	1986-1987
NPBR	250	12,5	125	---	1986-1988

donde:

L:	Semillas de lupinus	BNC:	Boronatrocálcita
P:	Fósforo	SFT:	Super fosfato triple
B:	Boro	SK:	Sulfato de Potasio
K:	Potasio	1:	una aplicación
N:	Nitrógeno	2:	dos aplicaciones
R:	Refertilización		

4.3 Obtención de las muestras

Para estudiar algunas propiedades físicas y químicas de la madera, en Octubre de 1994, se cortaron algunos árboles por parcela y se obtuvo como muestras rodela de madera extraídas de cada uno de ellos. Los árboles a cortar tuvieron como criterio de selección la rectitud del fuste, de modo evitar la existencia de madera de compresión, la ubicación dentro del rodal, para no alterar la distribución del crecimiento de los árboles remanentes, la dominancia de los árboles favoreciendo en este caso dominantes y codominantes, y por último su estado sanitario, es decir que no estuvieran afectados por una patología severa que denotara en forma visual una alteración clara en el crecimiento de los árboles.

Para efecto de compatibilizar precisión y costo y según la metodología desarrollada por Cown (1973) y Cown y Mc Conchie (1980), se determinó cortar 3 árboles por parcela, es decir 9 árboles por tratamiento, en los cuales se cortaron 5 rodela de 2.5 cm aproximadamente de espesor, a la altura de tocón y a los 100, 70, 50, y 30% de la altura comercial, considerada ésta hasta un diámetro límite de utilización (DLU) igual a 10 cm. El total de árboles seleccionados para la corta fue de 126 individuos lo que originó un total de 630 rodela como muestras.

Las rodela debidamente identificadas fueron transportadas para su análisis al Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción.

4.4 Análisis de laboratorio

En laboratorio se determinaron las propiedades físicas densidad básica de la madera, porcentaje de madera de verano o tardía y longitud de traqueidas, y las propiedades químicas contenido de celulosa, extraíbles y lignina.

La densidad básica se determinó de la siguiente forma:

1. Se colocó todas las muestras (rodela), sumergidas en agua durante un día o más para asegurarse que éstas hayan absorbido toda el agua posible.

2. Posteriormente cada rodela se introdujo en un recipiente con una cantidad estándar de agua sobre una balanza calibrada de ± 5 gramos de precisión. Las lecturas tomadas fueron dos, la primera que se lee en la balanza con el recipiente antes de introducir la rodela y la segunda que se lee luego que ésta ha desplazado el agua del recipiente y generado un nuevo peso. Esta diferencia, expresada en centímetros cúbicos, indicó el volumen verde de la rodela.

3. Posteriormente, las rodelas se colocaron en horno a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas o hasta que estuvieron totalmente secas para finalmente determinar en la balanza su peso seco en gramos.

4. La densidad básica (DB) se calculó mediante la siguiente fórmula (Norma Chilena Oficial, 1986):



$$\text{DB} = \text{Peso seco (g)} / \text{Volumen Verde (cc)}$$

5. Luego se establecieron 5 categorías de densidad de la madera de acuerdo al porcentaje de la altura del árbol que representa y que incluyó los valores originados a partir del promedio de las mediciones individuales (3) por parcela para cada tratamiento del respectivo bloque.

La determinación de proporción de madera de verano (tardía) se efectuó como se indica a continuación:

1. Se tomaron todas las rodela y se marcaron con un lápiz, delineando en ellas una cruz que tuvo como vértice el centro del primer anillo de crecimiento considerado éste desde el duramen hacia la albura.

2. Luego con un Vernier se midió en cada rodela y dentro de su respectivo anillo de crecimiento, el espesor del tejido de verano en dos de las direcciones señaladas por la cruz marcada. Los tejidos de primavera y verano son distinguibles en pino por su color, siendo el primero más claro. Al respecto Cown (1992) señala que la distinción visual es tan buena como cualquier otro método.

3. A continuación se sumaron los espesores registrados para cada tejido de verano, promediando las dos mediciones efectuadas, y se calculó el porcentaje de éstos en relación al total de la rodela.

4. Al igual que en la determinación de densidad básica, se establecieron cinco categorías que incluyeron los valores promedio por parcela (3 mediciones) del porcentaje de madera de verano, según la posición que representó la rodela en la altura del árbol, en su respectivo tratamiento y para cada bloque.

El análisis de las propiedades químicas, así como la determinación de longitud de traqueidas fue llevado a cabo por el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Concepción.

4.5 Procesamiento de la información

En primer lugar, para el análisis de la información se efectuó un ordenamiento en la estructura de los tratamientos correspondiente a un Arreglo Factorial Completo establecido para un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Los factores considerados dentro del arreglo fueron el raleo, la fertilización y la combinación entre ambos.

Posteriormente, se realizó análisis de varianza (ANDEVA) con la finalidad de establecer si existieron o no diferencias significativas entre los distintos tratamientos de los factores mencionados sobre las propiedades de la madera densidad básica y porcentaje de madera de verano. En el caso de ésta última propiedad, a los valores obtenidos, por tratarse de valores porcentuales se les realizó una transformación de tipo angular (arcoseno raíz Y) con el propósito que las varianzas resultantes sean homogéneas (Steel y Torrie, 1988).

Cuando el ANDEVA presentó una probabilidad menor o igual al 5% en alguna de las propiedades de la madera evaluadas para los factores mencionados se utilizó el Test de Tuckey para diferenciación de medias. El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa computacional SAS.

El resultado de esta información se correlacionó con los datos obtenidos de crecimiento en área basal por tratamiento, para los cuales también se analizó la existencia de

diferencias significativas entre los tratamientos utilizando el mismo diseño indicado anteriormente.

La determinación del incremento en área basal, según tratamiento y bloque, se realizó con la medición inicial (1987) y final (1994) de diámetro a la altura del pecho (DAP) de todos los árboles del ensayo.

Finalmente, con los resultados que se obtuvieron del análisis de laboratorio de las propiedades químicas de la madera y de la longitud de traqueida (propiedad física), se elaboró tablas y gráficos para estimar a través de una comparación simple de valores algún efecto entre los tratamientos formulados en el ensayo. Para la determinación de las propiedades físicas y químicas de la madera en laboratorio se consideró sólo una muestra por tratamiento de fertilización y densidad de raleo, independiente del bloque del cual provino. Esta medida, a pesar de imposibilitar su análisis estadístico, se consideró adecuada en vista del encarecimiento que se producía al efectuar la determinación de cada una de las propiedades para las muestras provenientes de cada bloque experimental.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 3 muestra los resultados promedio de la variable densidad básica de la madera (DB), para las 5 alturas relativas seleccionadas en el estudio. Para la densidad de raleo 400 árboles por hectárea, la densidad básica de la madera alcanza sus valores máximos a la altura de tocón con un rango entre 410 y 450 kg/m³ y sus valores mínimos a la altura relativa de 100% que fluctúan entre los 320 y 360 kg/m³. En el caso de la densidad de raleo 1000 árboles por hectárea, la misma variable obtiene sus valores más altos a la altura de tocón con un rango entre 430 y 450 kg/m³ y sus valores menores a la altura relativa de 100% que fluctúan entre 340 y 360 kg/m³.

TABLA 3. VALORES PROMEDIOS DE DENSIDAD BASICA DE LA MADERA (g/cm³) POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACION PARA DENSIDADES DE RALEO DE 400 Y 1000 ARBOLES POR HECTAREA.

Densidad Básica (g/cc) según altura relativa para 400 y 1000 árboles por hectárea										
Tratamiento Fertilización	400 arb/ha					1000 arb/ha				
	Tocón	30%	50%	70%	100%	Tocón	30%	50%	70%	100%
Testigo	0.45a	0.39a	0.39a	0.37a	0.33a	0.45a	0.40a	0.39a	0.37a	0.35a
LPB	0.41a	0.37a	0.36a	0.35a	0.33a	0.44a	0.40a	0.38a	0.37a	0.34a
NPBK	0.44a	0.37a	0.39a	0.38a	0.35a	0.43a	0.39a	0.38a	0.37a	0.35a
NB	0.43a	0.37a	0.36a	0.34a	0.32a	0.44a	0.40a	0.38a	0.37a	0.34a
NPB1	0.43a	0.40a	0.38a	0.37a	0.36a	0.44a	0.39a	0.39a	0.37a	0.35a
NPB2	0.45a	0.39a	0.38a	0.37a	0.35a	0.43a	0.38a	0.38a	0.36a	0.35a
NPBR	0.43a	0.37a	0.36a	0.35a	0.34a	0.45a	0.40a	0.39a	0.38a	0.36a

Medias ajustadas por análisis de varianza usando la densidad básica de la madera por tratamiento de fertilización como variable dentro de cada altura relativa (ver por columna). Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

Como lo indica el análisis de varianza (ANEXO 1), no existen diferencias significativas en ninguna de las alturas relativas para los tratamientos del factor fertilización. Este resultado concuerda con lo señalado por algunos autores los que no han logrado establecer una relación significativa entre la densidad básica de la madera y la aceleración de crecimiento provocada por la fertilización (Burdon y Harris, 1972).

Para el factor raleo (Tabla 4 y ANEXO 2), en cambio, existen diferencias significativas en densidad básica de la madera en todos los niveles de altura de los 2 tratamientos aplicados. El raleo 1000 árboles/ha presenta en promedio valores superiores en 0.01 g/cm³ a los encontrados para el raleo de 400 árboles/ha.

TABLA 4. VALORES PROMEDIO DE DENSIDAD BASICA (g/cm³) Y PORCENTAJE MADERA DE VERANO (%) PARA DENSIDADES DE RALEO 400 Y 1000 ARBOLES POR HECTÁREA.

Tratamiento Raleo	Altura Relativa (%)	Dens. Básica (g/cm ³)	% M. Verano (%)
400	Tocón	0.43a	24.03a
1000	Tocón	0.44b	25.62a
400	30	0.38a	22.76a
1000	30	0.39b	23.72a
400	50	0.37a	23.13a
1000	50	0.38b	22.54a
400	70	0.36a	19.61a
1000	70	0.37b	21.13a
400	100	0.34a	16.08a
1000	100	0.35b	17.05a

Medias ajustadas por análisis de varianza usando la densidad básica de la madera y porcentaje de madera de verano por tratamiento de raleo como variable. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

Esta respuesta se explica debido a la gran diferencia en el número de árboles por hectárea entre ambos tratamientos (400 y 1000 árboles/ha, respectivamente) lo que se traduce en diferentes tasas de crecimiento de los árboles haciendo disminuir la densidad básica de la madera a medida que el raleo es más intenso. Cown (1973) encontró para densidades de raleo de 200 y 500 árboles/ha respectivamente, una disminución de la densidad básica de la madera en promedio de 0.14 g/cm³.

Con respecto a la combinación entre los factores raleo y fertilización (ANEXO 1) para la densidad básica de la madera, no se detectó diferencias significativas a ninguna de las alturas relativas.

La tabla 5 muestra los valores medios de la densidad básica del árbol total por tratamiento de fertilización y raleo. Estos fluctúan entre 370 y 390 kg/m³ para la densidad de raleo 400 árboles/ha, y entre 390 y 400 kg/m³ para la densidad de raleo 1000 árboles/ha.

TABLA 5. VALORES PROMEDIO DE DENSIDAD BASICA DE LA MADERA (g/cm³) DE TODO EL ARBOL POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACION PARA DENSIDADES DE RALEO 400 Y 1000 ARBOLES POR HECTAREA.

Densidad Básica de la Madera (g/cc)		
Tratamiento	400 arb/ha	1000 arb/ha
Fertilización	Promedio	Promedio
Testigo	0,38	0,39
LPB	0,36	0,39
NPBK	0,38	0,38
NB	0,37	0,39
NPB1	0,39	0,39
NPB2	0,39	0,38
NPBR	0,37	0,40

Estos valores están dentro de lo esperado para pino radiata a la edad de 15 años bajo los regímenes de raleo utilizados en el ensayo (Cown, 1973; Burdon y Harris, 1973; Cown y McConchie, 1980; Cown, 1992).

En el raleo 400 árboles/ha sólo los tratamientos NPB1 y NPB2 presentan valores de densidad básica promedio del árbol total por sobre el testigo y en el raleo 1000 árboles/ha, prácticamente, no existen diferencias entre tratamientos de fertilización.

La Tabla 6 resume los resultados promedios de la variable porcentaje de madera de verano o tardía (% MV) en las distintas alturas relativas.

TABLA 6. VALORES PROMEDIOS DE PORCENTAJE DE MADERA DE VERANO (%) POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACIÓN PARA DENSIDADES DE RALEO DE 400 Y 1000 ARBOLES POR HECTAREA.

Tratamiento	Porcentaje de Madera Verano (%) según altura relativa para 400 y 1000 árboles por hectárea									
	400 arb/ha					1000 arb/ha				
	Tocón	30%	50%	70%	100%	Tocón	30%	50%	70%	100%
Testigo	23.05a	21.15a	22.20a	20,00a	16.48a	28.00a	24.56a	26.69a	23.43a	19.08a
LPB	22.04a	21.53a	20.80a	18.59a	15.24a	25.06a	23.37a	22.35a	20.45a	16.06a
NPBK	27.63a	25,67a	26.67a	23.34a	17.94a	25.47a	23.73a	21.74a	17.89a	15.93a
NB	23.69a	22.79a	22.64a	18.20a	16.00a	26.19a	22.97a	23.45a	22.62a	18.23a
NPB1	24.88a	24.21a	25.41a	20.17a	18.19a	25.87a	23.32a	18.02a	20.61a	16.44a
NPB2	22,56a	21.43a	23.07a	19.03a	13.56a	24.63a	24.03a	22.60a	21.17a	16.63a
NPBR	24.36a	22.55a	21.13a	17.92a	15.17a	24.13a	24.06a	22.96a	21.74a	17.01a

Medias ajustadas por análisis de varianza usando el porcentaje de madera de verano por tratamiento de fertilización como variable dentro de cada altura relativa (ver por columna). Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

No se detectaron diferencias significativas para el porcentaje de madera de verano en ninguna de las alturas en estudio para los distintos tratamientos del factor fertilización (ANEXO 3).

Para la densidad de raleo 400 árboles/ha, el porcentaje de madera de verano alcanza sus valores máximos a la altura de tocón con un rango entre 22% y 27% y sus valores mínimos a la altura relativa de 100% que fluctúan entre 13% y 18%. En el caso de la densidad de raleo 1000 árboles/ha, esta variable obtiene sus valores más altos a la altura de tocón con un rango entre 24% y 28% y sus valores menores a la altura relativa de 100% que fluctúan entre un 16% y 19%.

Tampoco hubo diferencias significativas para el factor raleo (Tabla 4 y ANEXO 3) y para la interacción raleo-fertilización (ANEXO 3) sobre el porcentaje de madera de verano.

En el caso del factor raleo, a pesar de la considerable diferencia del número de árboles/ha entre los dos tratamientos, no hay diferencias significativas en el porcentaje de madera de verano a ninguna altura medida (Tabla 4).

Una causa probable que explicaría en alguna medida el que no se haya detectado diferencias significativas sobre el porcentaje de madera de verano en ninguno de los factores evaluados, es el método de medición utilizado y que se obtuvo a partir del estudio de Cown y Harris (1991) en el que sólo se considera la relación radial entre el porcentaje de madera de verano y el total de la muestra. La precisión de determinar el

porcentaje de madera de verano de la forma en que se hizo pudo verse afectada por la uniformidad del anillo que no es constante en toda su circunferencia, el número de mediciones en la muestra que pudo haber sido insuficiente y la nitidez para visualizar la madera de verano dentro del anillo que se vió afectada por la aparición de hongos en las rodajas.

La tabla 7 muestra los valores medios del porcentaje de madera de verano del árbol total por tratamiento. Estos varían entre 19.64 % y 24.25 % en la densidad de raleo 400 árboles/ha y entre 20.86 % y 24.35 % en la densidad de raleo 1000 árboles/ha.

TABLA 7. VALORES PROMEDIO DEL PORCENTAJE DE MADERA DE VERANO (%) DE TODO EL ARBOL POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACION PARA DENSIDADES DE RALEO 400 Y 1000 ÁRBOLES POR HECTAREA.

Porcentaje Madera de Verano (%)		
Tratamiento	400 arb/ha	1000 arb/ha
Fertilización	Promedio	Promedio
Testigo	20,58	24,35
LPB	19,64	21,46
NPBK	24,25	20,95
NB	20,66	22,69
NPB1	22,57	20,86
NPB2	19,93	21,81
NPBR	20,22	21,98

En la densidad de raleo 400 árboles/ha la mayor parte de los tratamientos muestran un menor porcentaje de madera de verano con respecto al testigo (las excepciones corresponden a los tratamientos NPBK y NPB1 con valores un 18 % y 10% respectivamente, por sobre el testigo). En la densidad de raleo 1000 árboles/ha ningún

tratamiento supera la cantidad de madera de verano que posee el testigo. Este resultado coincide con lo señalado por Cown (1992) en cuanto a que la fertilización afecta negativamente el porcentaje de madera de verano en pino radiata.

Los valores promedio de diámetro a la altura del pecho (DAP) y área basal al inicio del ensayo y al efectuar la última medición (1987-1994) se presentan en la Tabla 8, conjuntamente con el incremento en área basal (IAB) para el período. En ella se muestra que para el factor fertilización no existen diferencias significativas de incremento en área basal (IAB) entre tratamientos considerando la densidad de raleo 400 árboles/ha.

TABLA 8. ANTECEDENTES DE INVENTARIO DEL ENSAYO DE FERTILIZACIÓN PROVENIENTE DE UN BOSQUE DE PINO RADIATA DE 14 AÑOS DE EDAD PARA DENSIDADES DE RALEO 400 Y 1000 ARBOLES POR HECTAREA.

Tratamiento	Densidad	DAP (cm)	DAP (cm)	AB (m ² /ha)	AB (m ² /ha)	IAB (m ² /ha)
Fertilización	Raleo	1987	1994	1987	1994	1987-1994
Testigo	400	12.80	24.20	5.20	18.40	13.20a
LPB	400	13.10	24.70	5.40	19.20	13.90a
NPBR	400	11.10	23.30	4.00	17.20	13.20a
NB	400	12.20	24.60	4.70	19.00	14,30a
NPBK	400	11.70	22.80	4.30	16.40	12.10a
NPB2	400	12.30	23.80	4.80	17.80	13.00a
NPB1	400	13.00	25.00	5.30	19.70	14.40a
Testigo	1000	11.80	19.80	11.10	30.90	19.70a
LPB	1000	11.50	19.70	10.80	30.60	19.80a
NPBR	1000	11.70	20.10	10.80	31.90	21.10a
NB	1000	11.10	19.60	9.70	30.10	20.40a
NPBK	1000	11.00	19.60	9.60	30.10	20.50a
NPB2	1000	11.10	19.50	9.90	29.80	20.00a
NPB1	1000	11.30	19.10	10.00	28.70	18.70a

Medias ajustadas por análisis de varianza usando el incremento en área basal por tratamiento de fertilización como variable. Diferentes letras indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

El valor más alto lo presenta NPB1 con 14.40 m²/ha y el más bajo NPBK con 12.10 m²/ha. El IAB para la densidad de raleo 1000 árboles/ha tampoco muestra diferencias significativas entre tratamientos de fertilización; en este caso, los incrementos varían entre 18.70 m²/ha para NPB1 y 21.10 m²/ha para NPBR.

La figura 1 muestra el IAB para los diferentes tratamientos de raleo y de fertilización.

En el caso del factor raleo, el ANDEVA realizado para el IAB (ANEXO 5) detectó diferencias significativas entre los dos tratamientos lo que es explicable considerando la diferencia en el número de árboles. La densidad de raleo de 1000 árboles/ha presenta en promedio valores mayores en 8 m²/ha aproximadamente a los de la densidad de raleo de 400 árboles/ha.

Para la combinación entre raleo y fertilización, los tratamientos no mostraron significancia (ANEXO 4).

Una hipótesis de que no exista diferencias significativas en el IAB para el factor fertilización y para la interacción raleo-fertilización, es que los productos y dosis aplicadas como fertilizantes no fueron suficientes o adecuadas para haber logrado una diferencia significativa en el crecimiento en área basal de los árboles, o bien una segunda hipótesis, es el efecto negativo que pudo producir la poda, al 70% de la copa viva, en

1987 no contemplada en el ensayo y que posiblemente afectó el normal crecimiento de los árboles y consecuentemente su demanda por nutrientes a partir del suelo.

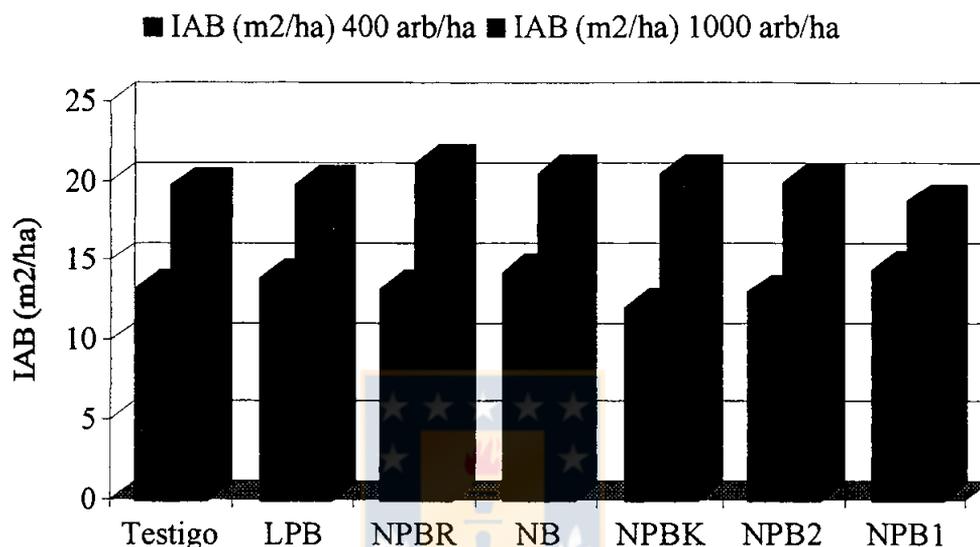


Figura 1. Incremento en área basal (m²/ha) en el período 1987-1994 para densidad de raleo 400 y 1000 árboles por hectárea.

Zobel et al. (1989) señalan al respecto que usualmente se recomienda que la poda debería empezar cuando el árbol tiene una altura suficiente de modo que la poda a la altura deseada resulte en la remoción de no más que un tercio a la mitad de la copa viva. De igual manera la poda pudo afectar las propiedades de la madera a partir de cambios en la forma del árbol, especialmente en las ramas, o secundariamente donde la madera es afectada por los cambios en los patrones de crecimiento causados por la remoción de partes de la copa, esto generalmente ocurre cuando se remueve más de la mitad de la copa viva (Zobel et al., 1989) como es en el caso del bosque en estudio.

En la Tabla 9 se muestran los resultados de las propiedades físicas y químicas analizadas. En relación a la longitud de traqueidas (figura 2), los tratamientos de fertilización presentan valores que varían entre los 2.2 y 2.8 mm para la densidad de raleo 400 árboles/ha y entre los 2.3 y 3.0 mm para la densidad de raleo 1000 árboles/ha.

TABLA 9. RESULTADO DEL ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS (LONGITUD DE TRAQUEIDA) Y QUIMICAS (CELULOSA, LIGNINA Y EXTRAIBLES) DE LA MADERA PARA LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION Y RALEO.

Tratamiento Fertilización	Densidad (N/ha)	Prop. Física		Prop. Químicas	
		L. Traqueidas (mm)	Celulosa (%bms)	Extraíbles (%bms)	Lignina (%bmsle)
Testigo	400	2.4	53.9	1.79	26.7
LPB	400	2.8	53.5	1.06	26.7
NPBK	400	2.2	52.3	1.53	26.9
NB	400	2.6	52.2	1.57	26.6
NPB1	400	2.6	52.5	1.61	26.4
NPB2	400	2.4	52.0	0.93	26.9
NPBR	400	2.4	52.6	1.17	26.8
Testigo	1000	2.4	54.4	0.84	26.7
LPB	1000	2.5	52.5	1.07	26.3
NPBK	1000	2.4	53.7	1.53	26.4
NB	1000	3.0	54.4	1.20	26.4
NPB1	1000	2.5	52.1	1.12	26.4
NPB2	1000	2.4	52.5	1.34	26.7
NPBR	1000	2.3	54.3	0.90	26.2

Existen tratamientos de fertilización que difieren en 0.6 y 0.7 mm en longitud de traqueida (24 y 28 % en relación al promedio) como es el caso para la fertilización entre NPBK y LPB en la densidad de raleo 400 árboles/ha, y entre NPBR y NB en la densidad de raleo 1000 árboles/ha. Del mismo modo para el raleo, la longitud de traqueida en

iguales tratamientos de fertilización presentan una variación del orden de 0,4 mm (15 % en relación al promedio), como ocurre con NB. Luego existiría alguna posibilidad de variación de la longitud de traqueida a partir de estos factores de manejo.

Al respecto, resultados de algunos estudios (Cown, 1972; 1973; Cown y McConchie, 1982) señalan que existen variaciones de esta propiedad en la madera proveniente de regímenes de raleo distinto siendo de mayor longitud las traqueidas donde la intensidad de raleo es menor.

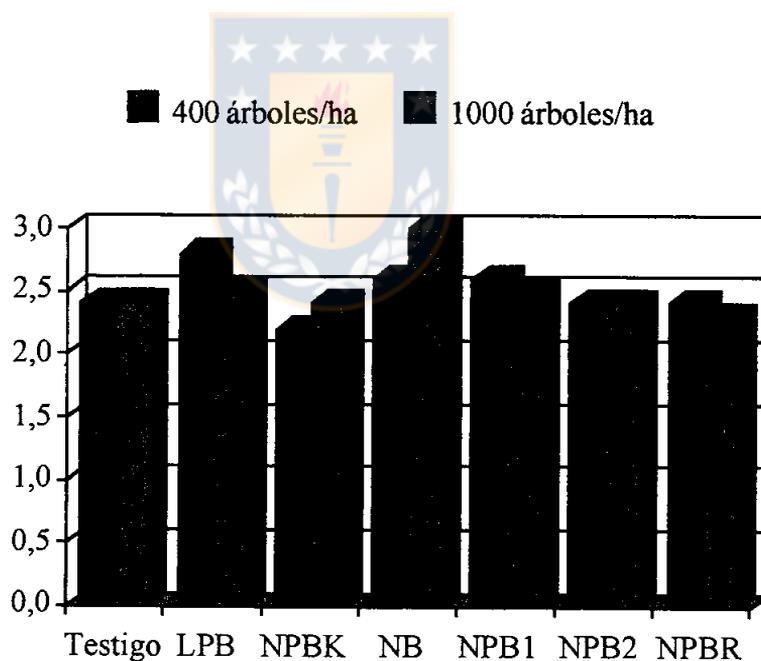


Figura 2 . Longitud de traqueidas (mm) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo.

No se detectó alguna variación considerable en los contenidos de celulosa y lignina en la madera con los tratamientos de raleo y fertilización aplicados (figura 3 y 4). Estos varían de 52.0 a 54.4 %bms y de 26.2 a 26.9 %bms respectivamente.

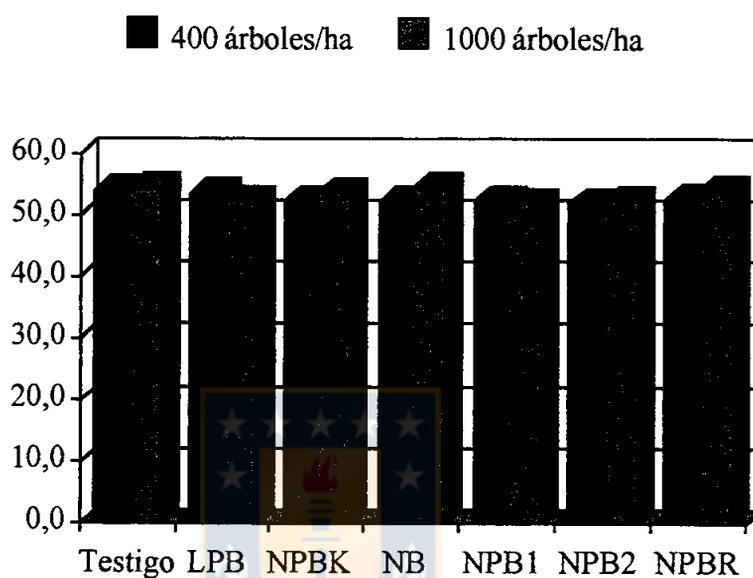


Figura 3. Contenido de celulosa (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo.

A pesar de que Daniel et al. (1982) menciona a ambas propiedades como afectadas con el manejo del bosque, no se encontraron antecedentes cuantitativos que muestren resultados posibles de comparar con los de este estudio.

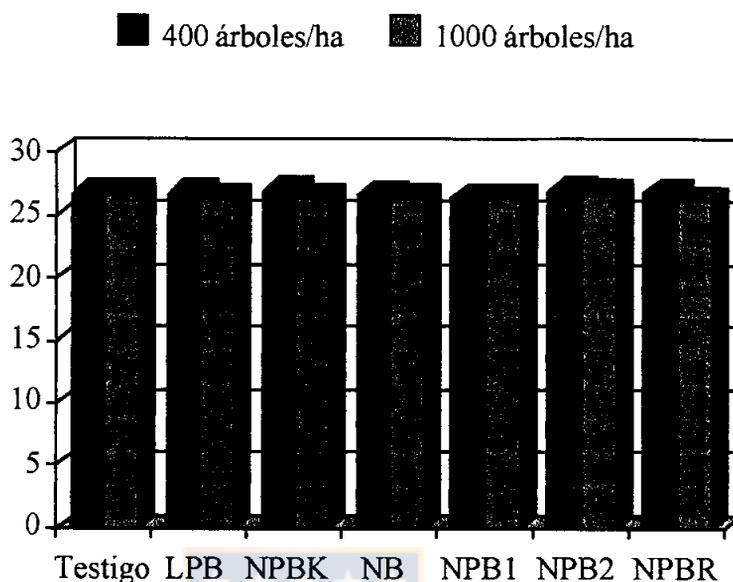


Figura 4. Contenido de lignina (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo.

El contenido de extraíbles (figura 5) por tratamiento de fertilización presenta valores promedio que fluctúan entre 0.93 y 1.79 %bms para la densidad de raleo 400 árboles/ha, y entre 0.84 y 1.53 %bms para la densidad de raleo 1000 árboles/ha. Cown y McConchie (1980, 1982) mostraron valores promedio de contenido de extraíbles de 2,9 y 3,3 % en bosques de 52 y 12 años, respectivamente.

Considerando sólo el raleo, no se aprecia un efecto consistente de uno y otro tratamiento sobre el contenido de extraíbles. Cown y McConchie (1981) indican que el raleo no tiene efecto aparente en el contenido de extraíbles en pino radiata.

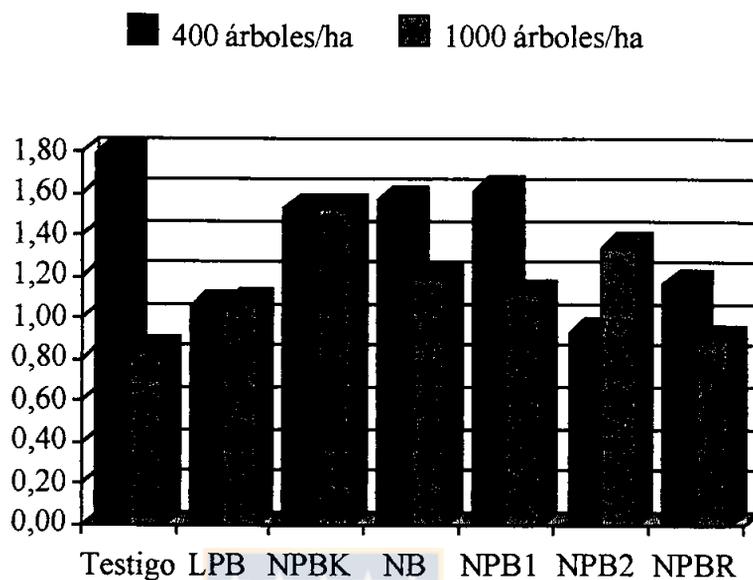


Figura 5 . Contenido de extraíbles en DCM (% bms) para madera proveniente de ensayo de fertilización (7 tratamientos) correspondiente a 2 densidades de raleo.

Sin embargo, Daniel et al. (1982) mencionan a los extraíbles como una propiedad que se ve alterada por efecto del manejo del bosque.

VI. CONCLUSIONES

No hubo efectos de la fertilización sobre las propiedades físicas densidad básica de la madera y el porcentaje de madera de verano. Ninguno de los tratamientos produjo una diferencia significativa en el crecimiento, a ninguna altura relativa del árbol, de modo que pudiera establecerse una relación con el comportamiento intrínseco de estas propiedades.

Los niveles de raleo aplicados produjeron diferencias significativas en la densidad básica de la madera. El raleo 1000 árboles/ha tuvo valores más altos que el raleo 400 árboles/ha en todos los niveles de altura, lo que mostraría que a mayor espaciamiento entre los árboles, la densidad de la madera tiende a disminuir. Sin embargo, el raleo no afectó significativamente el porcentaje de madera de verano.

La densidad básica de la madera aumenta desde el ápice hacia la base del árbol independiente del tratamiento de fertilización y raleo aplicado. Los valores fluctuaron en el ápice entre 320 y 360 kg/m³ y en la base del árbol entre 410 y 450 kg/m³. De igual manera ocurre con el porcentaje de madera de verano, en este caso, los valores fluctuaron en el ápice entre 13% y 19% y en la base del árbol entre 22% y 28%.

La fertilización no afectó significativamente el incremento en área basal. Sin embargo, existieron diferencias significativas entre los regímenes de raleo utilizados. El raleo 1000 árboles/ha supera, en promedio, en aproximadamente 8 m²/ha al raleo 400 árboles/ha, independiente del tratamiento de fertilización.

La propiedad física de la madera longitud de traqueida y las propiedades químicas de la madera contenido de celulosa, contenido de lignina y contenido de extraíbles presentaron resultados, imposibles de validar estadísticamente, que pudieran indicar diferencias a partir de la fertilización y de los dos regímenes de raleo aplicados en el estudio.



VII. RESUMEN

El efecto que tuvo la fertilización y dos regímenes de raleo sobre las propiedades físicas de la madera densidad básica (DB), porcentaje de madera de verano (MV) y longitud de traqueida, sobre las propiedades químicas de la madera contenido de celulosa, contenido de lignina y contenido de extraíbles, y finalmente sobre el incremento en área basal (IAB), se evaluó a partir de un bosque de Pinus radiata D. DON. de 14 años de edad.

Los tratamientos de fertilización (7) combinaron distintas fuentes y dosis de fertilizantes a partir de los elementos nitrógeno, fósforo, boro y potasio. Los regímenes de raleo considerados en el estudio fueron 400 y 1000 árboles/ha (R1 y R2, respectivamente).

La DB mostró valores en promedio, según tratamiento de fertilización, de 380 Kg/m³ (rango 320-410 Kg/m³) para R1 y 390 Kg/m³ (360-450 Kg/m³) para R2. El MV tuvo como valores promedio, según tratamiento de fertilización, 21 % (13-22 %) para R1 y 22 % (18-27 %) para R2. El IAB presentó como valores promedio 13.44 m²/ha (12.10-14.40 m²/ha) para R1 y 20.02 m²/ha (18.70-21.10 m²/ha) para R2. La longitud de traqueida mostró valores en promedio de 2.4 mm (2.2-2.8 mm) para R1 y 2.5 (2.3-3.0 mm) para R2. Las propiedades químicas de la madera contenido de celulosa y contenido de lignina presentaron valores promedio de 52 y 26 % independiente del tratamiento de fertilización y régimen de raleo. Finalmente, el contenido de extraíbles mostró valores de 1.38 % (0.93-1.79 %) para R1 y 1.14 % (0.84-1.53 %) para R2.

VIII. SUMMARY

The effect of the fertilization and two regimes thinning on the physical wood properties basic density (BD), latewood percentage (LP) and tracheid length, on the chemical wood properties cellulose content, lignin content and resin content, and finally on basal area increment (BAI), were examined from a 14 year-old radiata pine stand.

In the fertilization treatments (7) different sources and fertilizers doses from the elements nitrogen, phosphorus, boron and potassium were combined. The thinning regimes included in this study were 400 and 1000 stems/ha.

The BD averaged 380 Kg/m³ (range 320-410 Kg/m³) for R1 and 390 Kg/m³ (360-450 Kg/m³) for R2. The LP averaged 21 % (13-22 %) for R1 and 22 % (18-27 %) for R2. The BAI averaged 13.44 m²/ha (12.10-14.40 m²/ha) for R1 and 20.02 m²/ha (18.70-21.10 m²/ha) for R2. The tracheid length averaged 2.4 mm (2.2-2.8 mm) for R1 and 2.5 (2.3-3.0 mm) for R2. The chemical wood properties cellulose content and lignin content averaged 52 y 26 % independent from fertilization treatments and thinning regimes. Finally, the resin content averaged 1.38 % (0.93-1.79 %) for R1 and 1.14 % (0.84-1.53 %) for R2. All range were determined according fertilization treatments.

IX. BIBLIOGRAFIA

- BALLARD, R. 1978. Use of fertilisers at establishment of exotic forest plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 8 (1): 70-104.
- BAMBER, R. K. and J. BURLEY. 1983. The wood properties of Radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux. London, England.
- BAMBER, R. K., R. HORNE and A. GRAHAM-HIGGS. 1982. Effect of fast growth on the properties of *Eucalyptus grandis*. *Australian Forest Research* 12: 163-167.
- BRIGGS, D. and R. SMITH. 1986. Effects of silvicultural practices on wood properties of conifers. A review. pp 108-117. In: Ch. D. Oliver, D. P. Hanley. and J. A. Johnson (De.). *Douglas-fir: Stand Management for the Future*. University of Washington. Seattle, Washington. USA.
- BURGOS, P. y J. TORO. 1994. Efecto de una fertilización combinada con un raleo en *Pinus radiata* D.DON. Resultados parciales. *SILVOTECNA III: Suelo y nutrición forestal*. 26 de Agosto, 1994. Forestal Mininco S.A. Parque Jorge Alessandri R. Concepción-Chile.

CORSON, S.R. 1991. Wood characteristics influence pine TMP quality. *Tappi Journal* 74 (11): 135-146.

COWN, D.J. 1972. Effects of severe thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 3: 379-389.

COWN, D.J. 1973. Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties of Radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 4 (3): 540-551.

COWN, D.J. 1980. Wood age and wood property concepts. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10 (3): 504-507.

COWN, D.J. 1992. Suitability for processing New Zealand Radiata pine and Douglas fir. *FRI Bulletin* 168. Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.

COWN, D.J. and D.L. McCONCHIE. 1980. Wood property variations in an old-crop stand of radiata pine. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10 (3): 508-520.

- COWN, D.J. and D.L. McCONCHIE. 1981. Effects of thinning and fertiliser application on wood properties of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 11 (2):79-91.
- COWN, D.J. and D.L. McCONCHIE. 1982. Rotation age and silvicultural effects on wood properties of four stands of *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 12 (1): 71-85.
- COWN, D.J. and J.M. HARRIS. 1991. Basic Wood Properties. pp 1-27. In: J.A. Kininmonth and L.J. Whitehouse (Ed.). *Properties and uses of New Zealand radiata pine*. Ministry of Forestry. Rotorua, New Zealand.
- COWN, D.J. and R.P. KIBBLEWHITE. 1980. Effects of wood quality variation in New Zealand Radiata pine on kraft paper properties. *New Zealand Journal of Forestry Science* 10 (3): 521-532.
- COWN, D.J., D.L. McCONCHIE and G.D. YOUNG. 1991: Radiata pine. Wood properties survey. FRI Bulletin 50. Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- COWN, D.J., J.G. LOVE, D.L. McCONCHIE and C. COLBERT. 1984. Wood properties of radiata pine in some forests of the Bay of Plenty/Taupo Region. FRI Bulletin 81. Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.

DANIEL, T., J. HELMS y F. BACKER. 1982. Principios de Silvicultura. McGraw-Hill. México.

HASSLETT, A.N., G.D. YOUNG and R.A.J. BRITTON. 1990. Plantation grown tropical timbers. 2. Properties, processing and uses. *Journal of Tropical Forest Science* 3 (3): 229-237.

Instituto Nacional de Normalización (Chile). 1986. Madera-Selección, obtención y acondicionamiento de muestras y probetas para la determinación de propiedades físicas y mecánicas. NCH 968: of. 86. Santiago-Chile.

LEÓN, F. 1994. Fertilización de precosecha en plantación de Pino radiata: presentación de un caso. *SILVOTECNA III: Suelo y nutrición forestal*. 26 de Agosto, 1994. Forestal Mininco S.A. Parque Jorge Alessandri R. Concepción-Chile.

- McKIMM, R.J. and Y. HIC. 1987. Characteristics of the wood of young fast-grown trees of *Eucalyptus nitens* maiden with special reference to provenance variation. III Anatomical and physical characteristics. Australian Forest Research. 17: 19-28.
- McKINNELL, F.H. 1970. Wood density studies in *Pinus radiata* D.DON. Australian Forestry 18: 170-171.
- McLAREN, J.P. 1993. Radiata Pine Grower's Manual. FRI Bulletin N° 184. Forest Research Institute. Rotorua, New Zealand.
- MEAD, D. 1990. Response of young *Pinus radiata* to cultivation and fertiliser near Motueka, New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 20 (3): 268-278.
- MEAD, D. and R. GADGIL. 1978: Fertiliser use in establishment Radiata pine stands in New Zealand. New Zealand Forestry Science 8 (1): 105-134.
- STEEL, R. y J. TORRIE. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. McGraw-Hill / Interamericana de México, S.A de C.V. México.

ZOBEL, J. and J.P. BUIJTENEN. 1989. Wood variation: its causes and control.
Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. Germany.

ZOBEL, J., G. VAN WYK and P. STAHL. 1987. Growing exotic forests. John Wiley
& Sons. New York. USA.



X. ANEXO

ANEXO 1. ANALISIS DE VARIANZA PARA DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR PARA UN ARREGLO FACTORIAL COMPLETO CON RALEO, FERTILIZACION Y LA INTERACCIÓN ENTRE AMBOS COMO FACTORES Y DENSIDAD BASICA DE LA MADERA (g/cm³) COMO VARIABLE, PARA ALTURA RELATIVA 1 (TOCON).

Procedimiento Modelos Lineales Generales

Clase	Niveles	Valores
Fertilización	7	F1; F2; F3; F4; F5; F6; F7
Densidad Raleo	2	R1; R2

Número de observaciones = 42

Variable Dependiente: DB1

Fuente	G.Libertad	Sum Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Modelo	13	0.00561190	0.00043168	2.01	0.0588
Error	28	0.00600000	0.00021429		
Total Corregido	41	0,01161190			
	R-Cuadrado	Coef. Variación	Raíz MSE		Media DB1
	0.483289	3.346854	0.014639		0.43738095

Variable Dependiente: DB1

Fuente	G. Libertad	SS Tipo I	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Fertilización	6	0.00182857	0.00030476	1.42	0.2413
Densidad Raleo	1	0.00105000	0.00105000	4.90	0.0352
Fert*Raleo	6	0.00273333	0.00045556	2.13	0.0818

DONDE:

R1: RALEO 400 ARB/HA; R2: RALEO 1000 ARB/HA.

F1: TESTIGO; F2: LPB; F3: NPB1; F4: NPB2; F5: NB; F6: NPBR; F7: NPBK.

ANEXO 2. TEST DE TUKEY PARA COMPARACION DE MEDIAS DEL FACTOR RALEO CON DENSIDAD BASICA DE LA MADERA (g/cm³) COMO VARIABLE, A LA ALTURA RELATIVA 1 (TOCON).

Procedimiento Modelos Lineales Generales

Prueba de TUKEY con Rango de Student (HSD) para variable: DB1

Alfa= 0.05; G. Libertad= 28; MSE= 0.000214

Valor crítico de Rango de Student= 2.897

Diferencia Mínima Significativa= 0.0093

Medias con misma letra no significa diferencia

Grupo TUKEY	Media	N	Densidad Raleo
A	0.44238	21	R2
B	0.43238	21	R1

DONDE:

R1: RALEO 400 ARB/HA; R2: RALEO 1000 ARB/HA.



ANEXO 3. ANALISIS DE VARIANZA PARA DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR PARA UN ARREGLO FACTORIAL COMPLETO CON RALEO, FERTILIZACION Y LA INTERACCIÓN ENTRE AMBOS COMO FACTORES Y PORCENTAJE MADERA DE VERANO (%) COMO VARIABLE, PARA ALTURA RELATIVA 1 (TOCON).

Procedimiento Modelos Lineales Generales

Clase	Niveles	Valores
Fertilización	7	F1; F2; F3; F4; F5; F6; F7
Densidad Raleo	2	R1; R2

Número de observaciones = 42

Variable Dependiente: MV1

Fuente	G.Libertad	Sum Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Modelo	13	0.01559038	0.00119926	0.54	0.8768
Error	28	0.06183948	0.00220855		
Total Corregido	41	0.07742986			
	R-Cuadrado	Coef. Variación	Raíz MSE		Media MV1
	0.201348	9.028452	0.046995		0.52052381

Variable Dependiente: MV1

Fuente	G. Libertad	SS Tipo I	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Fertilización	6	0.00591992	0.00098665	0.45	0.8410
Densidad Raleo	1	0.00354752	0.00354752	1.61	0.2155
Fert*Raleo	6	0.00612294	0.00102049	0.46	0.8303

DONDE:

R1: RALEO 400 ARB/HA; R2: RALEO 1000 ARB/HA.

F1: TESTIGO; F2: LPB; F3: NPB1; F4: NPB2; F5: NB; F6: NPBR; F7: NPBK.

ANEXO 4. ANALISIS DE VARIANZA PARA DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR PARA UN ARREGLO FACTORIAL COMPLETO CON RALEO, FERTILIZACION Y LA INTERACCIÓN ENTRE AMBOS COMO FACTORES E INCREMENTO EN AREA BASAL (m²/ha) COMO VARIABLE.

Procedimiento Modelos Lineales Generales

Clase	Niveles	Valores
Fertilización	7	F1; F2; F3; F4; F5; F6; F7
Densidad Raleo	2	R1; R2

Número de observaciones = 42

Variable Dependiente: IAB

Fuente	G.Libertad	Sum Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Modelo	13	476.6856286	36.6681253	14.69	0.0001
Error	28	69.8687333	2.4953119		
Total Corregido	41	546.5543619			
	R-Cuadrado	Coef. Variación	Raíz MSE		Media IAB
	0.872165	9.442592	1.579656		16.7290476

Variable Dependiente: IAB

Fuente	G. Libertad	SS Tipo I	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Fertilización	6	5.6521619	0.9420270	0.38	0.8871
Densidad Raleo	1	454.7438095	454.7438095	182.24	0.0001
Fert*Raleo	6	16.2896571	2.7149429	1.09	0.3936

DONDE:

R1: RALEO 400 ARB/HA; R2: RALEO 1000 ARB/HA.

F1: TESTIGO; F2: LPB; F3: NPB1; F4: NPB2; F5: NB; F6: NPBR; F7: NPBK.

ANEXO 5. TEST DE TUKEY PARA COMPARACION DE MEDIAS DEL FACTOR RALEO CON INCREMENTO EN AREA BASAL (m²/ha) COMO VARIABLE.

Procedimiento Modelos Lineales Generales

Prueba de TUKEY con Rango de Student (HSD) para variable: IAB

Alfa= 0.05; G. Libertad= 28; MSE= 2.495312

Valor crítico de Rango de Student= 2.897

Diferencia Mínima Significativa= 0.9986

Medias con misma letra no significa diferencia

Grupo TUKEY	Media	N	Densidad Raleo
A	20.020	21	R2
B	13.439	21	R1

DONDE:

R1: RALEO 400 ARB/HA; R2: RALEO 1000 ARB/HA.

