

Efecto de la fertilización a la pradera en la densidad básica de la madera de *Pinus radiata*. D. Don.

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

¹ Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Apartado 159-7050, Cartago, Costa Rica

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

e-mail: rmoya@itcr.ac.cr

RESUMEN

El presente estudio muestra las diferencias en la densidad básica de la madera del *Pinus radiata*, para dos ensayos sometidos a diferentes esquemas de fertilización: pradera fertilizada y pradera sin fertilizar. Además, se consideran las diferentes clases sociales presentes en los rodales: dominantes, intermedios y suprimidos.

Para la determinación de la densidad básica se utilizaron rodela extraídas al diámetro a la altura del pecho, en la cual los anillos de crecimiento fueron separados, determinando para cada uno de ellos su volumen en estado verde y su peso seco al horno.

Los análisis estadísticos demostraron que la densidad disminuye luego de la fertilización, prolongándose el efecto por un período de dos a tres años dependiendo de la clase social. Los efectos de la fertilización son mayores en los árboles suprimidos, menores en los intermedios y sin efecto en los árboles dominantes. Como conclusión general se estableció que la fertilización de la pradera disminuye la densidad básica del *Pinus radiata*, sobre todo en los primeros 10 años de crecimiento del árbol.

Así también se encontró que los árboles creciendo en praderas durante sus primeros 10 años de crecimiento no se producen variaciones significativas en la densidad básica de la madera. Este comportamiento es producto del manejo intensivo que se somete los árboles, en virtud de buscar una mayor cantidad de luz para el desarrollo del forraje.

Palabras clave: densidad básica, *Pinus radiata*, fertilización, manejo silvopastoral.

INTRODUCCIÓN

En Chile, los sitios usados en la actualidad para la forestación y reforestación se caracterizan por su baja productividad debido a la extracción a un ritmo acelerado de los nutrientes, ocasionado por la agricultura intensiva (Mancilla,1996). Sin embargo, la fertilización es

* Autor para correspondencia

Recibido: 8-6-01

Aceptado para su publicación: 29-8-01

una actividad silvicultural frecuentemente utilizada en estos sitios, orientada a suplir las necesidades nutricionales de los árboles en una determinada etapa de su desarrollo.

La Corporación Nacional Forestal (CONAF) de Chile, con el propósito de dar respuesta a la demanda social de incorporar los sitios de baja fertilidad al desarrollo forestal bajo el concepto de uso múltiple del suelo, inició en el año 1983 una línea de desarrollo que integra la compatibilidad de actividades agrícolas, ganaderas (praderas para el pastoreo) y forestales (plantaciones), en una misma unidad productiva (cultivo silvopastoral). Para ello, estableció en el Centro Experimental Forestal de Tanumé un ensayo de silvopastoreo con plantaciones de *Pinus radiata* y ganadería de ovinos (Arriagada, 1998).

Después de 16 años de investigación se ha demostrado que la fertilización, aunque no fue aplicada directamente a los árboles, ha mejorado el desarrollo en altura, diámetro y volumen de los rodales creciendo en estos sitios (Cancino *et al.*, 1999). Este aumento en las características dasométricas de los rodales se debe a que existe la misma posibilidad de absorber los nutrientes tanto para los árboles como para la pradera, según estudios realizados en *Pinus radiata* por Clinton y Mead (1994a, 1994b).

Se sabe que la fertilización afecta las propiedades de la madera (Zobel y Van Buijtenen, 1989; Cahill y Brix, 1992). La aplicación de fósforo en sitios de baja calidad tiende a reducir la densidad básica (DB) de la madera de *Pinus radiata* en un 15 %; pero cuando es aplicada en sitios de buena calidad, la DB no se ve afectada (Bamber y Burley, 1983). Por otra parte, cuando se fertiliza con potasio, la DB decrece alrededor del 20 % y esta disminución se mantiene por un periodo de 3 años luego de su aplicación (Mckinnell y Rudman, 1973). Otras investigaciones en esta misma especie señalan que al aplicar mezclas de fósforo, potasio y nitrógeno (Cromer *et al.*, 1977; Nelson *et al.*, 1980; Cown y McConchie, 1981), la DB de la madera disminuye. Sin embargo, al utilizar mezclas de fósforo, boro, potasio y nitrógeno no se encontró efecto sobre la DB de la madera (Nicholls, 1971; Gentle *et al.*, 1986).

Así también, en otras especies de coníferas y latifoliadas, como *Pinus Pinaster* (Polge, 1969), *Pseudotsuga menziessii* (Resler, *et al.*, 1975), *Pinus taeda* (Zobel *et al.*, 1961), *Pinus elliottii* (Willians y Hamilton, 1961), *Picea sitchensis* (Lindström, 1996) y *Eucalyptus grandis* (Andrade *et al.*, 1994) se ha encontrado que la fertilización disminuye la DB de la madera.

Sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento se caracterizan porque la fertilización se ha realizado directamente a los árboles, pero, ¿son iguales los efectos en la madera de *Pinus radiata* cuando la fertilización es aplicada en la pradera y no al árbol, como en el caso de los sistemas de silvopastoreo? Es por ello que en la presente investigación se planteó como objetivo principal determinar el efecto de la fertilización de la pradera en la DB de *Pinus radiata* de árboles de 16 años de edad creciendo en Chile.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización de los ensayos

El material utilizado para la investigación, se obtuvo de dos ensayos de *Pinus radiata* ubicados en la localidad de Tanumé, VI Región de Chile (34° 9'-34° 15' latitud sur y 72° 53' - 72° 59' longitud oeste), con un clima templado subhúmedo, bajo la influencia marítima y con cuatro meses de sequía. La precipitación media anual es de 705,22 mm, la temperatura media anual 11,6 °C y una humedad relativa de 88,8 %.

Materia prima y características de los tratamientos

En la determinación de la DB del *Pinus radiata* se utilizaron árboles de 16 años de edad creciendo en ensayos silvopastorales, los cuales, como se mencionó, fueron plantados en el año 1983, y durante los primeros 10 años tenían la condición de silvipastoreo, ya que luego de esa edad, por el tamaño de los árboles, pasaron a ser una plantación comercial. Las modalidades establecidas en los ensayos donde se extrajo la madera fueron las dos siguientes:

Pradera sin fertilizar (SF): En este tratamiento no se sembró ningún tipo de forraje, solamente se permitió el desarrollo natural del pasto. En los análisis de los componentes de esta pradera se identificó como especies predominantes *Hordeum sp.* (cebadilla), *Plantago lanceolata* (siete venas), *Vulpia dertonensia* (pasto delgado) *Avena barata* (Teatina) y *Paspitheia coerulea* (azulillo). En este tipo de pradera no se aplicó fertilizante.

Pradera fertilizada (PF): Al igual que el anterior tratamiento no se sembró forraje. Las especies de forraje eran las mismas que se presentaban en pradera natural, pero con la diferencia de que se aplicó fertilizante a razón 76 y 122 kg/ha con nitrógeno y fósforo en forma de superfosfato triple y urea, respectivamente, en el mes de agosto de los años tres, seis y 11. La forma de aplicación fue directamente a la pradera y fue hecha al «surco».

Los árboles fueron plantados a una densidad de 625 árboles por hectárea, con arreglos de cuatro plantas por conglomerado a una distancia entre planta de 2 m, y de 6 m entre conglomerado (Fig. 1). Con respecto a los esquemas de manejo, a ambos ensayos se le aplicaron la misma intensidad de podas y raleos en la misma edad (Tabla 1).

En el momento de realizar la recolección de los árboles para obtener los discos, la condición de las plantaciones muestras presentaban las siguientes características:

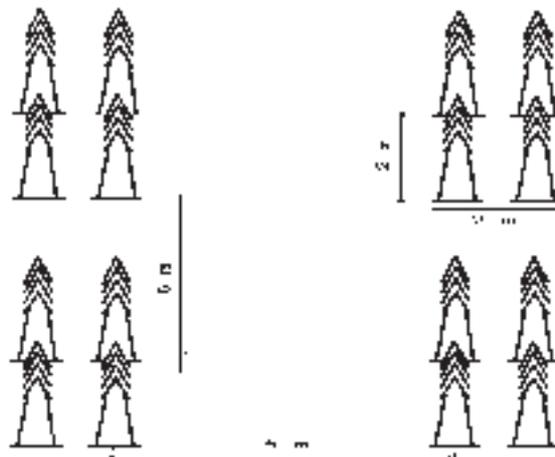


Fig. 1.—Espaciamiento utilizado en el proyecto silvopastoral

Tabla 1
Esquema de aplicación de podas y raleos

Tipo de ensayo	Orden de aplicación	Edad de los árboles (años)	Altura de la copa		Densidad de plantación	
			Antes de la poda (m)	Después de la poda (m)	Antes del raleo (n/ha)	Después del raleo (n/ha)
PF	Primera	6,5	7,39	4,36	549	324
	Segunda	7,5	13,08	6,26	324	214
	Tercera	10,5	24,02	13,70	214	172
SF	Primera	6,5	7,99	4,99	523	360
	Segunda	7,5	14,29	9,39	358	229
	Tercera	10,5	24,43	13,90	229	180

Fuente: Arriagada, 1998.

Tabla 2
Valores promedios de las variables dasométricas medidas en cada uno de los ensayos

Variables dasométricas	Parámetros estadísticos	Árboles creciendo en pradera	
		PF	SF
Diámetro a la altura del pecho	Promedio (cm)	38,64	36,19
	DS (cm)	5,08	4,11
Altura total	Promedio (m)	23,02	22,89
	DS (m)	1,99	2,71
Altura de inicio copa viva	Promedio (m)	6,43	7,11
	DS (m)	0,86	1,66
Longitud de copa viva	Promedio (m)	16,46	15,91
	DS (m)	1,80	1,95

DS: Desviación estándar.

Selección de los árboles

Para la selección de los árboles a muestrear se confeccionó la distribución de frecuencia acumulada de los diámetros presentes. Cada rodal y se dividió en tres partes, correspondientes a los terciles de la distribución (Tabla 3), permitiendo asociar los diámetros con su posición social dominantes (DOM), intermedios (INT) y suprimidos (SUP). De cada clase social se seleccionaron tres árboles al azar, dando como resultado nueve árboles por cada ensayo. Se tuvo especial cuidado en que los árboles seleccionados fueran rectos, sin bifurcaciones y sin daños visibles.

Tabla 3
Categoría de diámetros establecidos para dos rodales de *Pinus radiata*

Categoría	Tipo de árbol	Rango diamétrico (cm)	
		PF	SF
Categoría 1	SUP	29,00 - 35,99	24,00 - 34,49
Categoría 2	INT	36,00 - 40,49	34,50 - 37,99
Categoría 3	DOM	40,50 - 50,00	38,00 - 45,00

Obtención de las muestras y mediciones

Se obtuvieron discos a la altura del pecho (DAP) de cada uno de los árboles seleccionados de 3 cm de espesor aproximadamente, desde los cuales se extrajo una vigueta en dirección norte-sur, de aproximadamente 5 cm de ancho. Posteriormente de cada vigueta se cortó un listón pasando por la médula, y se procedió a la separación de los anillos de crecimiento con la ayuda de un formón, de tal manera que los anillos estuvieran compuestos tanto del leño temprano como tardío (Fig. 2). Esta operación se facilitó debido a que el *Pinus radiata* presenta una diferencia muy marcada entre un anillo y otros. De cada listón se obtuvieron dos muestras para cada año, una en la posición norte y la otra en la posición sur, las cuales se mantuvieron sumergidas en agua con el fin de mantenerlas en estado de saturación.

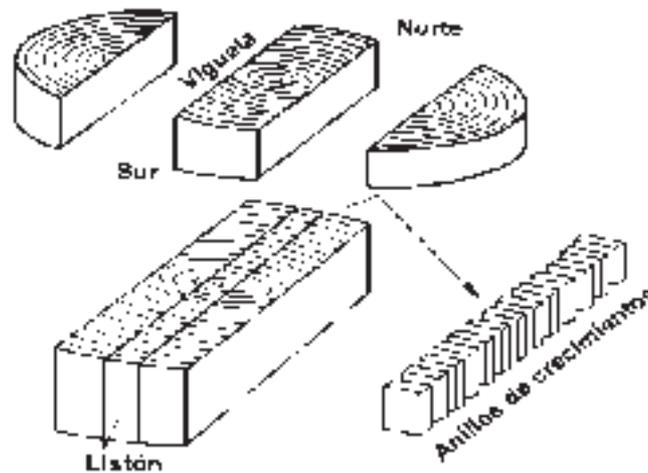


Fig. 2.—Forma de obtención de las muestras

La identificación de las diferentes edades de los árboles se estableció tomando el último anillo de crecimiento como la edad de 16 años, ya que en el momento que se extrajeron las muestras la plantación tenía 16 años de plantada. La edad de 15 años correspondía al segundo anillo de la médula hacia adentro, la edad de 14 años al tercero y así sucesivamente hasta llegar al anillo más interno.

A cada una de las muestras se les determinó el volumen en verde con la ayuda del Instrumento de Breuil, midiendo éste el volumen por desplazamiento de mercurio (Kollman y Côte, 1968), y posteriormente éstas fueron llevadas a un horno (103 °C) para la obtención y determinación de sus pesos anhidros, y con estos dos valores se determinó la DB de las muestras.

Análisis estadístico

El diseño experimental planteado fue de bloques completamente aleatorio, compuesto de dos factores, el primero de ellos correspondió al tratamiento de fertilización en dos niveles: PF y SF, y el otro factor correspondió a la posición social de los árboles muestreados en tres niveles DOM, INT y SUP, y como factor de bloque se consideró el punto cardinal (norte y sur), ya que existe la posibilidad de la presencia de madera de reacción. Para probar el efecto de la fertilización en la DB se utilizó el análisis de varianza (ANOVA).

Es importante mencionar que a la altura del DAP existían en promedio cuatro anillos de crecimiento perdidos, por lo que los análisis que se reportan son para el período que va desde los 4 a 16 años. El programa computacional utilizado para el ANOVA fue el SAS (SAS, 1997). El procedimiento del SAS utilizado para el análisis de varianza, para cada año, fue el PROC GLM (general linear model) y para realizar las comparaciones se usó la instrucción (statement) CONTRAST.

RESULTADOS

Los resultados y las discusiones se presentan divididos en dos partes, la primera considera cada una de las clases sociales, denominándose por este mismo nombre, y la segunda se refiere al rodal como unidad de manejo, denominándose como población total.

Clases Sociales

En árboles SUP, la DB promedio incrementó de 0,345 g/cm³, cerca de la médula, a 0,460 g/cm³ en la madera al llegar a la corteza para los árboles en la PF y de 0,390 a 0,460 g/cm³ para la madera alrededor de la médula y la corteza, respectivamente, de los árboles en la SF (Fig. 3a). Por otra parte, la DB disminuye en los tres años siguientes a la primera fertilización, pero solamente se encontró evidencia estadística ($P < 0,05$) en el año seis, después de tres años de aplicada la fertilización. En la segunda aplicación de fertilizante, a la edad de seis años, la DB disminuye significativamente en los dos años siguientes y luego se mantiene sin diferencia hasta la tercera aplicación de fertilizante, en

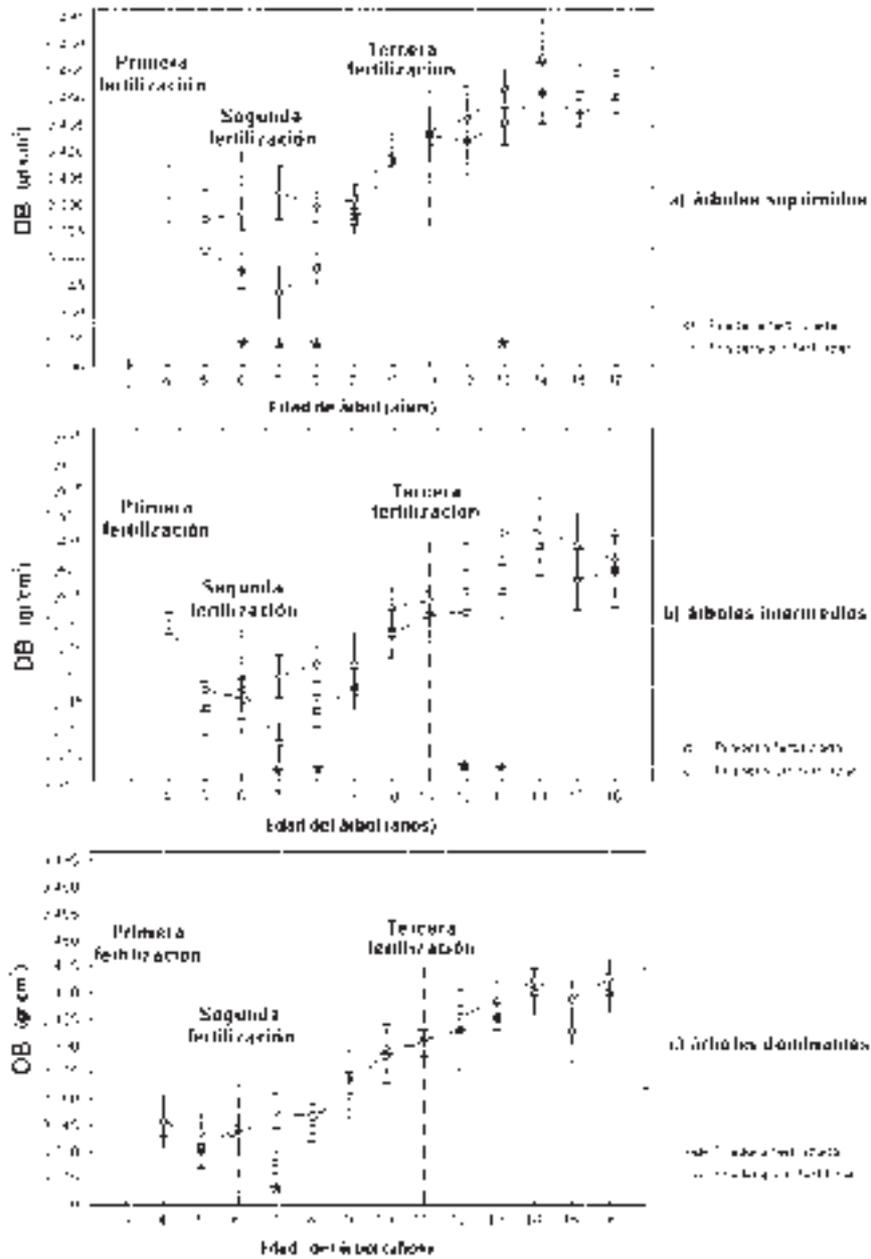


Fig. 3.—Comportamiento de la DB para los árboles SUP de la PF y la SF. (Límites de intervalos verticales = media de la medición ± error estándar y el asterisco indican que en ese año existe diferencia significativa para un nivel de 0,05)

que nuevamente la DB es menor que cuando no se fertiliza, pero sin evidencia estadística que afirme esta diferencia, a excepción del año 13, es decir, dos años después de aplicado el fertilizante, donde fue estadísticamente significativa la disminución de la DB (Fig. 3a).

Por el contrario, en los árboles INT, el comportamiento de la DB entre los fertilizados y sin fertilizar fue diferente a los SUP. En la madera cerca de la médula se midió una DB promedio de $0,340 \text{ g/cm}^3$ para la PF y de $0,390 \text{ g/cm}^3$ para los árboles SF y cerca de la corteza $0,420 \text{ g/cm}^3$ para ambos tratamientos (Fig. 3b). Con respecto a los efectos de la fertilización, es importante tener en consideración que en la primera fertilización no había la cantidad de anillos suficiente para determinar la diferencia entre los dos tratamientos. En la segunda fertilización, la DB disminuyó significativamente en los dos años siguientes a su aplicación y luego se mantuvo sin diferencia hasta la tercera fertilización. Al año siguiente se presentaron diferencias significativas por un período de dos años, para luego continuar una tendencia normal (Fig. 3b).

La variación radial de la DB en los árboles DOM de la PF y SF fueron muy similares (Fig. 3c), con valores promedios de $0,345 \text{ g/cm}^3$ y al llegar a la corteza de $0,420 \text{ g/cm}^3$. Los análisis de varianza demostraron que la DB solamente disminuyó significativamente en el año siete, un año después de la segunda fertilización, siendo esta clase social la menos afectada por la fertilización, con respecto a los otras dos clases sociales, SUP e INT.

Población total

Considerando las clases sociales como un conjunto, o sea, lo que se ha llamado población total, se encontró que la distribución de la DB medida a la altura del DAP incrementó desde la médula a la corteza (Fig. 4) de $0,345 \text{ g/cm}^3$ a $0,434 \text{ g/cm}^3$ en PF, con un promedio de $0,385 \text{ g/cm}^3$ y de $0,352 \text{ g/cm}^3$ a $0,444 \text{ g/cm}^3$ en SF, con un promedio de $0,400 \text{ g/cm}^3$ (Tabla 4).

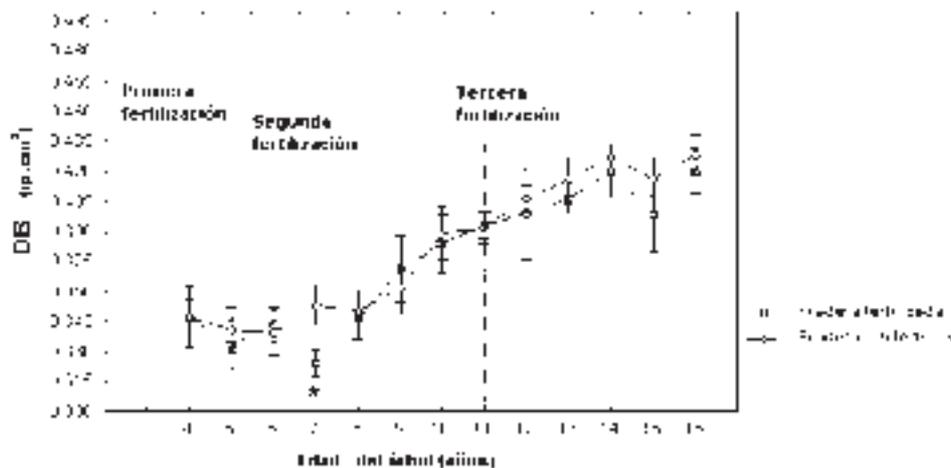


Fig. 4.—Distribución radial de DB para *Pinus radiata* creciendo en PF y SF. (Límites de intervalos verticales = media de la medición \pm error estándar y el asterisco indican que en ese año existe diferencia significativa para un nivel de 0,05)

Tabla 4
DB promedio para las diferentes clases sociales

Parámetro estadístico	SUP		INT		DOM		Población total	
	PF	SF	PF	SF	PF	SF	PF	SF
Promedio (g/cm ³)	0,404	0,422	0,378	0,396	0,376	0,383	0,385	0,400
DS (g/cm ³)	0,0427	0,0363	0,0403	0,0389	0,0369	0,0359	0,0417	0,0403
n	72	78	74	76	78	76	224	230

DS: Desviación estándar; n: Cantidad de mediciones.

DISCUSIÓN

La fertilización afecta la DB de la madera principalmente en las etapas iniciales de crecimiento y sus efectos permanecen durante tres a cinco años, dependiendo de la especie y de las condiciones de crecimiento (Cahill y Brix, 1992). Esta afirmación se comprobó en árboles SUP, en que la DB disminuyó principalmente en los primeros ocho años, período durante el cual la tasa de incremento medio en altura e incremento medio en diámetro fueron máximos (Vargas, 1996). Posterior a este período, las tasas de incremento bajaron, provocando pocas diferencias en DB entre los PF y SF para este tipo de árboles.

En relación con los árboles INT, se encontró que responden al estímulo de la fertilización por un período de dos años, luego de su aplicación, y posteriormente la DB vuelve a su tendencia normal. Este comportamiento es esperado después de efectuar la fertilización, ya que la producción de células de leño temprano es mayor que la de leño tardío, lo cual provoca una disminución en la DB de la madera durante el período que los nutrientes agregados son absorbidos por los árboles (Brix y Mitchell, 1980).

En los árboles DOM, a diferencia de los SUP e INT, la DB de la madera solamente disminuyó en el año siete, siendo esta clase social la menos afectada por la fertilización, debido a que los árboles presentan mayor aptitud para competir por los recursos del sitio.

Por otra parte, los árboles SUP presentaron un promedio de DB de 0,404 g/cm³ para PF y 0,422 g/cm³ para SF, los que fueron mayores a los presentados por los árboles INT, con valores de 0,378 y 0,396 g/cm³, respectivamente, y éstos a su vez mayores que los árboles DOM con 0,385 g/cm³ para PF y 0,400 g/cm³ para SF (Tabla 4). La diferencia encontrada entre los diferentes tipos de árboles en el rodal se debe a que la densidad disminuye con el aumento de la tasa de crecimiento (Bamber y Burley, 1983), siendo los SUP los que presentan menores tasas de crecimiento, seguido de los INT y finalmente los DOM.

El comportamiento encontrado para la totalidad de la población de árboles de *Pinus radiata* coincide con los reportados por Cown (1992) y Valenzuela *et al.* (1991); los cuales señalan que para árboles creciendo en Nueva Zelanda y Chile, respectivamente, existe una tendencia de aumento de la densidad similar al presente estudio, aunque los árboles utilizados por dichos investigadores no fueron fertilizados.

En la Figura 4 se puede observar que la DB disminuye significativamente un año después de la primera fertilización, no observándose diferencias hasta la segunda fertiliza-

ción, en que la DB disminuye significativamente en los siguientes dos años. En la tercera fertilización, la DB nuevamente disminuye con la aplicación del fertilizante a la pradera en los dos años siguientes, para recuperarla a los tres años. Sin embargo, nuevamente disminuye estadísticamente cuatro años después de la tercera fertilización.

La disminución encontrada en la DB por efecto de la fertilización en este estudio concuerda con otras investigaciones (Bamber y Burley, 1983; Cromer *et al.*, 1977; Nelson *et al.*, 1980; Cown y McChonchie, 1981). Así también, la duración de 2 años del efecto de la fertilización en la DB, concuerda con el resultado obtenido por Mckinnell y Rudman (1973).

La aplicación de fertilizantes a diferentes edades afecta la DB de la madera, con un mismo patrón de comportamiento, en que se observa una disminución de este parámetro por un período de dos a tres años. Por tanto, para las condiciones de estos ensayos, la fertilización en edades de tres, seis y 11 años provocó una disminución en la DB de la madera del *Pinus radiata*.

Según Cahill y Briggs (1992), la fertilización aplicada directamente a los árboles es efectiva durante las primeras etapas de desarrollo del árbol, caracterizadas por altas tasas de incremento en altura, diámetro y copa. Sin embargo, esta afirmación no se cumplió cuando la fertilización es aplicada en la pradera, ya que los máximos incrementos se alcanzaron en el año nueve (Vargas, 1996). Aún así, la fertilización llevada a cabo en el año 11 provocó una disminución en la DB, lo que podría atribuirse al régimen de manejo intensivo a que fueron sometidos los ensayos (Tabla 1), puesto que los árboles, por condiciones de espacio y competencia, pueden responder mejor a la fertilización.

La DB desde el año ocho o nueve en adelante, para las diferentes clases sociales y la población total, tiende a aumentar con la edad, a diferencia de los años anteriores, en que no se presentan cambios en los valores de la DB entre un año y otro. Este comportamiento se debe, probablemente, a que a partir del año ocho finaliza el período de madera juvenil y comienza una transición a madera adulta para esta especie creciendo en Chile, caracterizada por un aumento gradual de la DB (Ortiz, 1964).

La distribución radial de la DB en otras investigaciones (Cown y McChonchie, 1980; Valenzuela y Nakayama, 1991) es diferente a la obtenida en el presente estudio. Dichas investigaciones reportan que la DB tiene una forma creciente desde el primer año hasta el año ocho o nueve y posteriormente sigue una tendencia casi constante para árboles de 25 y 45 años, respectivamente. Sin embargo, en este estudio encontramos que hasta el año nueve, correspondiente al anillo seis a la altura del DAP, la DB mantiene su valor y luego sigue un comportamiento creciente hasta el año 14. Esta diferencia se debe a que a los árboles utilizados por los autores antes mencionados no se les aplicó ningún tipo de manejo y la edad de los árboles era muy diferente a la utilizada en este estudio, lo que permitió el desarrollo «normal» de la DB, mientras que los árboles utilizados en el presente estudio se caracterizaron por la aplicación de un esquema de manejo intensivo (tres raleos, tres podas y tres fertilizaciones en un período de 11 años y baja densidad inicial de plantación), lo que permitió un incremento en la tasa de crecimiento de los árboles y pocas variaciones de la DB.

CONCLUSIONES

La fertilización de la pradera en edades de tres, seis y 11 años disminuye la DB del *Pinus radiata* y su efecto depende de la clase social del árbol en el rodal, siendo mayor en los árboles SUP, menor en los INT y sin efecto en los árboles DOM.

La disminución en DB de la madera de árboles provenientes de praderas fertilizadas se prolonga por un período de dos a tres años, principalmente en los primeros años de crecimiento del árbol y en las clases sociales inferiores (SUP e INT).

Los árboles que se desarrollan en praderas, independientemente si fertiliza o no, durante los primeros ocho o nueve años, la DB tiende a mantenerse constante con la edad; posteriormente a esta edad este parámetro empieza a aumentar gradualmente, explicado por el manejo intensivo de podas y raleos durante los primeros años.

AGRADECIMIENTOS

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

SUMMARY

Pastures fertilization effect on basic density of *Pinus radiata* D. Don

The effects of pasture fertilization on basic density of *Pinus radiata* wood growing in silvopastoral system, for two trials submitted to different fertilization schemes: fertilized pasture and unfertilized pasture, are shown in this study. In addition, the different social classes existing in the dominant, intermediate and suppressed stands, are considered.

To determine the basic density of wood, disks extracted at a diameter breast height, where annual rings were separated, measuring for each one of them its green volume and dry weight, were used.

Statistical analyses showed that density of wood was effected by pasture fertilization, remaining its effect for a period of two and three years depending on the social class. Pasture fertilization effects are higher in the suppressed trees, lower in the intermediate trees, and without any effect in the dominant trees. As a general conclusion it was determined that pastures fertilization decreases basic density on *Pinus radiata*, especially during its first 10 years of tree growth.

It was also found that on trees growing on pastures, there is no significant variation on basic density of wood during their first 10 years of growth. This behavior is the result of the intensive management of the trees forcing them to compete for light for forage development.

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE M., ROCHA B., BARROS N., LUCIA R., CAMPOS J., VALENTE O., 1994. Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. Revista Arvore 18(1), 69-78.
- ARRIAGADA J., 1998. Ensayos de Sistemas silvopastorales Centro Experimental Tanumé. Documento de trabajo núm. 3. Corporación Nacional Forestal, VI Región Chile.

- BAMBER R.K., BURLEY J., 1984. The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux, 84 pp.
- BRIX H., MITCHELL K., 1980. Effects of thinning and nitrogen fertilization on xylem development in douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 10(2), 121-128.
- CAHILL B.C., BRIX H., 1992. Effects of fertilization on wood quality and tree value. En *Forest fertilization sustaing and improving nutrition and growth of western forest*, pp. 145-160.
- CANCINO J., ESPINOSA M., VARAS A., 1999. Projection of height and diameter and estimation of future volume yield in silvopastoral trial. *For. Ecol. Manage.* 123(2-3), 275-285.
- COWN D.J., MCCONCHIE D.L., 1981. Effects of thinning and fertilizer application on wood properties of *Pinus radiata*. *N. Z. J. For. Sci.* 11(2), 79-91.
- COWN D.J., MCCONCHIE D.L., 1980. Wood property variations in an old-crop stand of Radiata Pine. *N. Z. J. For. Sci.* 10(3), 509-520.
- COWN D.J., 1992. New Zealand radiata pine and douglas fir. Suitability for Processing. Ministry of Forestry, Forest Research Institute FRI Bulletin, 168 pp.
- CLINTON P.W., MEAD D.J., 1994a. Competition for Nitrogen between *Pinus radiata* and Pasture: I. Recovery of ¹⁵N after one growing season. *Can. J. For. Res.* 24(5), 882-888.
- CLINTON P.W., MEAD, D.J. 1994b. Competition for Nitrogen between *Pinus radiata* and Pasture: II. Trend in plant and soil processes. *Can. J. For. Res.* 24(5), 889-896.
- CROMER R., DARGAVEL J., HERDERSON V., NELSON P., 1977. More pulpwood from less land. *Appita J.* 31(1), 49-53.
- ERICKSON H., LAMBERT G., 1958. Effects of fertilization and thinning on chemical composition, growth, and specific gravity of young douglas fir. *For. Sci.* 4(4), 307-315.
- ERICKSON H., HARRISON T., 1974. Douglas-fir wood quality studies. Part II: Effects of age and stimulated growth on wood density and anatomy. *Wood Sci. Technol.* 8(3), 207-226.
- GENTLE S.W., BAMBER R.K., HUMPHREYS F.R., 1986. Effect of two phosphate fertilizers on yield, financial and wood quality of radiata pine. *For. Sci.* 14(3), 282-286.
- HIGGS, H., RUDMAN P., 1973. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *Eucalyptus regnans*. *Appita J.* 27(1) 51-55.
- KOLLMANN F.F., CÔTE C.J., 1968. Principles of Wood Science and Technology I. Solid Wood. Springer-Verlag New York Inc. 161 pp.
- LINDSTRÖM H., 1996. Basic density in norway spruce. Part III development from pith outwards. *Wood Fiber Sci.* 28(4), 391-405.
- MANCILLA G., 1996. Proceso de erosión en Chile; Alcances y Proposiciones. Documento técnico Chile Forestal No. 97, 17 pp.
- MCKINNELL F., RUDMAN P., 1973. Potassium fertilizer and wood density of pinus radiata. *Appita J.* 26(4), 283-286.
- NELSON P., HALL M., HANSEN N., HERDERSON V., TURKEY N., 1980. The effect of silvicultural practices on kraft pulping properties of *Pinus radiata*. *Appita J.* 33(5), 368-378.
- NICHOLLS J.W., 1971. The effect of environmental factors on wood characteristics. 1. The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silvae Genetica* 20, 26-32.
- ORTIZ M.R., 1964. Variaciones del largo de la tráquea y peso específico en *Pinus Insigne (Pinus radiata* D. Don). Actas de la reunión sobre investigaciones Forestales. Informe Técnico 21, Instituto Forestal, Chile. 35-40.
- POLGE H., 1969. Influence de la fertilisation sur la qualité du bois de pin maritime. *Ann. Sci. For.* 26(1), 45-64.
- RESLER P., GLADSTONE W., MARTON R., 1975. Effect of fertilization on papermaking properties of douglas-fir. *Tappi J.* 58(2), 99-102.
- SAS Institute Inc, 1997. SAS/STAT® user's guide, versión 6.08, Vol. 2. SAS Institute Inc. Cary, NC. 846.
- SASTRY C.B., KOZAK A., WELLWOOD R.W., 1972. A new approach of the evaluation of wood from fertilized trees. *Can. J. For. Res.* 2, 417-426.
- VALENZUELA L., NAKAYAMA Y., 1991. The bending work of radiata pine grown in Chile. *Mokazai Gakkaishi* 37(5), 396-404.
- VARGAS A.O., 1996. Evaluación silvícola de un sistema silvopastoral con plantación de *Pinus radiata* D. Don en el Centro Experimental Forestal Tanumé, VI región. Memoria de Título Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. 60 pp.
- WILLIAMS R., HAMILTON J., 1961. The effect of fertilization on four wood properties of slash site. *J. of For.* 59(9), 662-665.
- ZOBEL B.J., GOGGANS J., MAKI T., HENSEN F., 1961. Some effects of fertilizers on wood properties of loblolly pine. *Tappi J.* 44(3), 186-195.
- ZOBEL B., VAN BUIJTENEN B., 1989. Wood variation: its causes and control. Spring-Verlag, 363 pp.