

FERTILIZACION CON BORONATROCALCITA EN PLANTACIONES
JOVENES DE *Pinus radiata* EN SUELOS GRANITICOS *

V. Gerding; O. Puentes; J.E. Schlater ; P. González

RESUMEN

En la zona de Traiguén -Lumaco (Lat. 38° 10' Sur, Long 72° 50' Oeste) se observó plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* D. Don con crecimiento restringido y evidentes síntomas de insuficiencia de boro. Tales restricciones están asociadas a suelos de origen granítico de bajo contenido de boro y son más intensas en años secos. Lo anterior originó el presente estudio sobre el efecto de fertilizaciones con boronatrocalcita en plantaciones de 2 y 4 años de edad establecidas sobre suelos graníticos de lomajes y cerros y graníticos depositacionales.

La fertilización causó un aumento de concentración de boro en el follaje y una disminución de los síntomas típicos de esta carencia nutritiva. La efectividad del tratamiento se vio influida por la edad de la plantación, el tipo de suelo y la exposición del terreno.

SUMMARY

Pinus radiata new plantings showed a restricted growth and evident boron insufficiency symptoms in the Traiguén-Lumaco district (38°10'S, 72°50'W). Such restrictions were associated to soils form

granitic rock origin and were more intense in dry years with low rainfall. This evidence leads to the present work on fertilization with Commonite in 2 and 4 years old plantations, established in a rolling landscape of in situ and coluvial granitic soils.

Commonite fertilization caused an increment of foliage boron level and diminished the typical symptoms of this insufficiency. The effectiveness of the fertilization was influenced by age of the plantations, soil type and ground exposition. Nevertheless no significant effect was detected for tree growth, that can be interpreted as caused by soil physical limitations and inadequate water regimen.

The Commonite fertilizations with 15 g/tree scattered on top soil outline of trees, 6 g/tree and 15 g/tree in holes showed the same effects, but 15 g/tree in hole shows more effectiveness propensity in the long term.

INTRODUCCION

En plantaciones de *Pinus radiata* D. Don establecidas por la Corporación Nacional Forestal en la zona comprendida entre Lumaco y Traiguén, Provincia de Malleco, se observaron síntomas de insuficiencia de boro durante los períodos esti-

* Proyecto patrocinado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile y auspiciado por la Corporación Nacional Forestal.

vales de 1977-78 y 1978-79. Tales síntomas fueron de gran intensidad por las escasas precipitaciones en esos períodos, relación casual ya descrita en la literatura (Stone, Will 1965; Lambert, Turner 1977; Lambert 1980).

Los suelos sobre los cuales fueron establecidas las plantaciones presentan una baja disponibilidad del elemento. Esto es posible predecirlo debido a que son derivados de rocas graníticas, cuyo contenido de boro es originalmente bajo (alrededor de 15 ppm) (Mengel, Kirkby 1978). Además, debido al avanzado grado de evolución del suelo y por la erosión que ha experimentado desde su incorporación al uso agropecuario, tal disponibilidad es con seguridad aún más baja.

Es conocido que para eliminar la insuficiencia de boro en *Pinus radiata*, la mejor solución es fertilizar con un producto boratado, pudiéndose con ello satisfacer las necesidades inmediatas de boro para la planta y además, constituir una reserva de tal elemento en el suelo (Tollenaar 1969; Zoetl 1973; Adams 1979).

En consideración a lo anterior, se estableció un ensayo de fertilización con boro en las plantaciones mencionadas que pudiera explicar los efectos que tienen sobre el desarrollo de los árboles; la dosis de fertilizante boratado, el método de aplicación del fertilizante al suelo, el tipo de suelo (de la localidad) y la exposición del terreno.

MATERIAL

Ubicación geográfica.-

El área del estudio ubicada en la provincia de Malleco, cercana a Lumaco, 38° 10' latitud sur y 72° 50' longitud Oeste, tiene una elevación de 200 a 300 m.s.n.m. El clima es templado cálido con esfación seca y lluviosa semejantes (Fuenzalida 1965). El período lluvioso, de abril a septiembre,

concentra casi el 80% de las precipitaciones anuales y la temperatura media mensual es, en general, algo inferior a 10°C. El período seco presenta un promedio superior a los 15°C.

En la figura 1 se muestran las variaciones, de la precipitación y la temperatura media mensuales registradas en la localidad de Los Sauces. Ella, aunque más seca que el área del estudio, representa la tendencia general ocurrida en la zona. En los años 1976, 1978 y 1979, se produjeron sendos períodos prolongados (verano y otoño) con muy escasas precipitaciones y con mermas considerables respecto a la precipitación anual normal. Justamente en dichos períodos se pronunciaron en la zona los síntomas visuales de la carencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata*.

Suelos.-

Los suelos del área corresponden a las series Santa Sofía y Cauquenes (Iren 1964; Odepa 1968). La serie Santa Sofía está formada por un material parcialmente descompuesto, depositado sobre diferentes tipos de rocas, originando planos depositacionales y piedemontes llamados suelos graníticos depositacionales. Los suelos de la serie Cauquenes están formados a partir de rocas graníticas muy meteorizadas, presentan una topografía ondulada a disectada, originando los llamados suelos graníticos de lomajes y cerros.

Estos suelos han sido utilizados en agricultura, principalmente con trigo, y posteriormente en ganadería, provocando en ellos una erosión de manto generalizada, con mayor intensidad en las cumbres de los lomajes y en laderas de pendientes pronunciadas.

Entre sus características más destacables pueden mencionarse la textura, que es fina en todo el perfil (franca arcilla arenosa), con una mayor proporción de arcilla en los suelos de lomajes y cerros y más

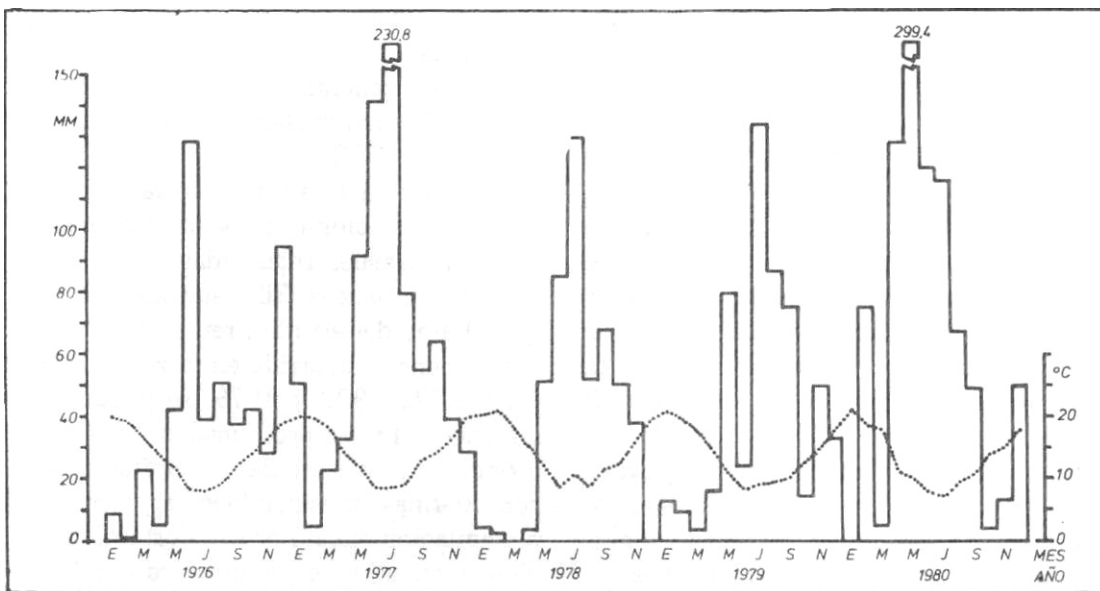


Figura 1. Precipitación y temperatura media mensual en la localidad de Los Sauces (37°59'S, 72°49'O).

Monthly rainfall and mean temperature from Los Sauces (37°59'S, 72°49' W).

limo en los suelos depositacionales. Presentan una densidad aparente alta, generalmente sobre 1,3 g/cc, y un bajo a moderado contenido de materia orgánica en el suelo superior, como se muestra en la Figura 2. Tales características causan que el suelo presente una baja capacidad de

agua aprovechable, es decir, menor que 100 mm en 1 m de profundidad. El drenaje interno del suelo es moderado a lento mejorando a medida que aumenta la pendiente del terreno. En las posiciones de cumbre, a menudo se presenta drenaje imperfecto en el subsuelo (Schlatter, Grez, Gerding 1981).

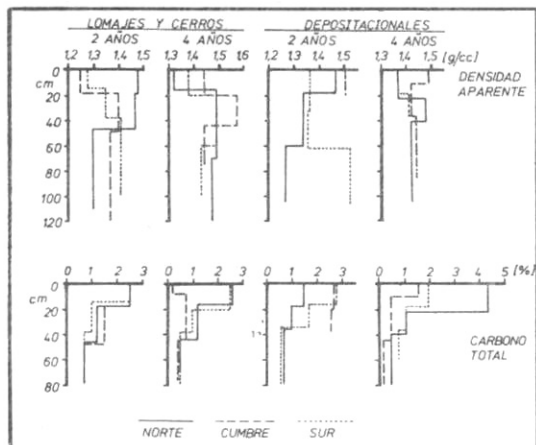


Fig. 2. Densidad aparente y carbono total del suelo en los perfiles de las parcelas del ensayo.

Soil profiles bulk density and total carbon from trial plots.

La fertilidad de los suelos es baja, tanto por las características anteriores como por la disponibilidad de elementos nutritivos. El pH es fuertemente ácido (4,1—5,3), el contenido de nitrógeno total es bajo (0,09-0,21%) y moderada a baja la disponibilidad de fósforo (< 11-37 ppm), potasio (< 10—140 ppm) y magnesio (< 10-13 ppm) (Gerding *et al.* 1982).

Plantaciones.-

En los ensayos se utilizaron plantaciones de *Pinus radiata* de dos y cuatro años de edad, plantadas los años 1977 y 1975, respectivamente, en terrenos ondulados a quebrados, cubiertos por praderas naturales compuestas principalmente por gramí-

neas. Las plantaciones se realizaron con barra plantadora, a una densidad de 2.500 plantas por hectárea.

En el diagnóstico del estado nutritivo de las plantaciones de cuatro años de edad se detectaron algunos casos con niveles marginales de nitrógeno, potasio y magnesio, mientras que en las plantaciones de dos años de edad hubo con mayor frecuencia niveles marginales de magnesio y sólo en algunos casos, de potasio. La marginalidad nutritiva indicada mostró tendencias significativas con los factores exposición del terreno y tipo de suelo (Gerding *et al.* 1982), debiendo explicarse a través de cambios puntuales de fertilidad a causa tanto de la heterogeneidad natural de los suelos, como también de su uso histórico.

METODO

Diseño.-

En las plantaciones de cada clase de edad se estableció un diseño de bloques al azar que consideró los siguientes factores y niveles (Puentes 1979).

La fertilización se realizó entre fines de octubre y principios de noviembre de 1979, en parcelas de 25 m por 25 m, considerando un borde tratado de 5 m de ancho, lo que implica una superficie efectiva de 225 m² por parcela. Cada tratamiento constituía una parcela y un bloque agrupaba a cuatro parcelas.

Evaluación.-

— *Variables.* Una serie de variables que se detalla más abajo se midió primero al ejecutar la fertilización (noviembre, 1979) y luego 16 meses tarde (marzo, 1981), aunque algunas se midieron sólo en la segunda oportunidad.

El estado nutritivo de los árboles se evaluó, sólo en la segunda oportunidad, a través de a) Concentración de boro en las acículas (ppm) por el método de la Azometina-H. b) Contenido de las acículas (°/o) por el método de calcinación, c) Peso de 100 acículas secas a 105°C (g).

La concentración de boro y cenizas se expresaron como proporción de la materia seca del follaje. Estas variables fueron determinadas para cada parcela en tres muestras mezcla de follaje de 10 árboles cada una, obtenidas según las recomendaciones de Mead y Will (1976).

Se describió una serie de síntomas visuales con el objeto de encontrar aquellos que permitieran el mejor diagnóstico de la insuficiencia de boro: a) Multiflecha (°/o): árboles con formación de varias flechas en reemplazo del ápice principal, sin dominio de ninguna de ellas; b) Muerte apical (°/o):

Cuadro 1. Características del diseño experimental.

Experimental design characteristics.

Factores	Niveles	Símbolos
— Suelo	— granítico de lomajes y cerros	L
	— granítico depositacional	D
— Exposición del terreno	— exposición norte	N
	— exposición sur	S
	— sin exposición, en las cumbres de lomas	C
— Tratamiento de fertilización	— 15 g Boronatrocalcita por árbol aplicados al voleo (*)	15V
	— 15 g Boronatrocalcita por árbol, aplicados en hoyo (**)	15H
	— 6 g Boronatrocalcita por árbol, aplicados en hoyo	6H
	— testigo sin fertilizar	O

(*) El contenido de boro—elemento en la boronatrocalcita varía según la pureza de ésta entre un 7°/o y un 16°/o.

Fertilizante esparcido alrededor del árbol, en la proyección de la copa.

(**) Fertilizante distribuido en dos hoyos de 20 cm de profundidad a 15 cm del tallo, siguiendo la curva de nivel del terreno correspondiente a la ubicación del árbol.

árboles con el ápice principal muerto; c) Apice atrasado (°/o): árboles con el ápice principal de menor crecimiento que los ápices laterales o secundarios; d) Apice secundario (°/o): árboles con un ápice secundario dominante, que toma el lugar del ápice principal; e) Amarillamiento del follaje (°/o): árboles con acículas parcial o totalmente amarillentas; f) Longitud de las acículas (cm): longitud promedio de acículas sanas.

El desarrollo de las plantaciones se evaluó a través de las siguientes variables: a) Número de árboles por hectárea y mortalidad en el período; b) Altura total promedio y crecimiento en el período (m); y c) Diámetro promedio del tallo a 5 cm de altura y crecimiento en el período (cm).

Estas características de las plantaciones, al igual que los síntomas visuales, se determinaron en todos los árboles de cada parcela.

- *Análisis de las variables.* Todas las variables anteriormente mencionadas fueron sometidas a análisis de varianza factorial (Sokal, Rohlf 1979). Cuando resultó significativo este análisis al 95°/o de confianza se procedió a determinar las diferencias significativas entre los niveles dentro de cada variable (95°/o de confianza) (Scheffe 1959). También se analizaron algunas relaciones entre el suelo y las plantas y entre el estado nutritivo y los síntomas de los árboles mediante correlaciones y regresiones simples (Downie, Heath 1973).

— *Otras evaluaciones.* En una evaluación preliminar se determinó la concentración de boro en el follaje cinco meses después de aplicado el fertilizante (abril, 1980); sólo se consideraron los tratamientos 15H, 15V y 0 de los bloques de las cumbres. En mayo de 1982, 30 meses después de la fertilización, se efectuó una evaluación parcial determinando síntomas en las plantaciones que tenían dos años al

inicio del ensayo, establecidas en el suelo de lomajes y cerros.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efectos de la fertilización

Nivel de boro en el follaje.- La evaluación preliminar demostró que luego de cinco meses de la fertilización, las plantaciones habían absorbido boro de fertilizante (Cuadro N° 2). Resultados similares se han encontrado en otros ensayos con boronatrocalcita (González, Konow 1981).

En las plantaciones de dos años de edad esta absorción fue indiscriminada y, según los niveles nutricionales para *P. radiata* determinado por Ballard (1977), alcanzaron niveles muy altos; pero en aquellas de cuatro años no alcanzó a superar el nivel marginal. Tal diferencia posiblemente está relacionada con la forma de aplicación del fertilizante, que en las plantas más jóvenes fue aplicada más cerca del vástago; pero también pudo ser causado por la distinta demanda entre una planta de dos años y otra de 4 años de edad.

Transcurridos 16 meses desde la fertilización, el nivel de boro disminuyó en las plantas fertilizadas. Como era esperado, esta disminución fue más pronunciada en las plantaciones que más boro absorbieron inicialmente, lo cual coincide con lo encontrado por González *et al* (1983) en ensayos similares. El efecto de la fertilización sobre el contenido de boro del follaje permaneció siendo significativo respecto a los testigos sólo en las plantaciones de dos años de edad (Cuadro N° 3).

En las plantaciones de cuatro años de edad del suelo depositacional se encontraron mayores concentraciones de boro que en aquellas del suelo de lomajes y cerros. En las primeras los niveles de este elemento nutritivo fueron, de acuerdo con Ballard (1977), satisfactorios a marginales cuando

se aplicó fertilizante y bajos a marginales en los árboles sin fertilizar. Las plantaciones del suelo de lomajes y cerros, en cambio, mostraron niveles sólo marginales a bajos y bajos, respectivamente (Cuadro 2 y 3; Fig. 3).

El efecto de la fertilización en las plan-

taciones de 4 años, se observó especialmente con las dosis mayores de boronotrocalcita (15H y 15V). Sin embargo, sólo en las plantaciones del suelo depositacional se obtuvieron resultados satisfactorios desde el punto de vista de la absorción de boro, mientras que las plantaciones del suelo

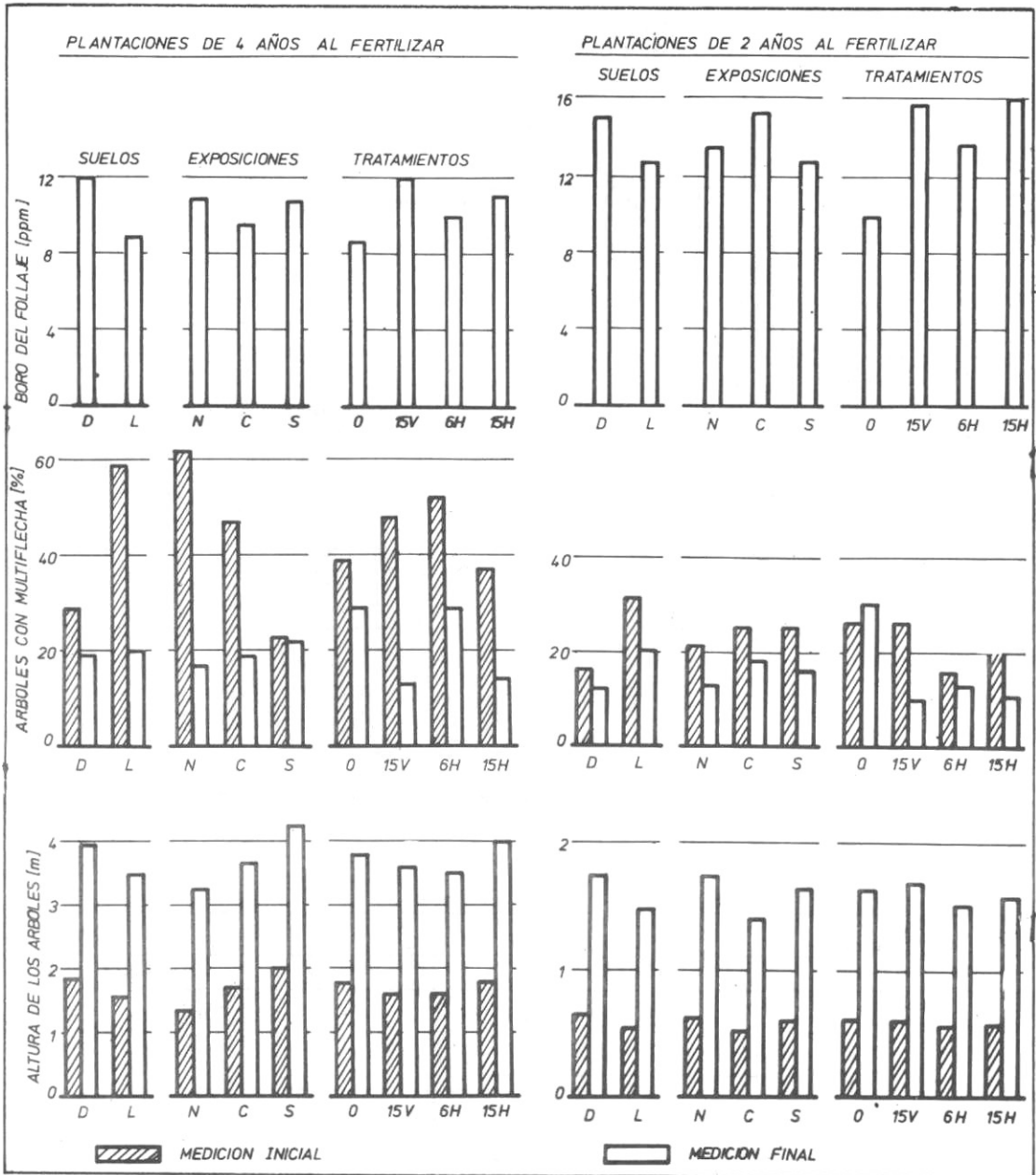


Figura 3. Contenido de boro en el follaje, síntoma de multiflecha y crecimiento en altura de los árboles.

Foliage boron concentration, tree branched apex symptom and height growth.

Cuadro 2. Concentración de boro en el follaje (ppm).
Foliage boron concentration (ppm).

E X P O S I C	T R A T A M E N T O	Plantaciones de 4 años		Plantaciones de 2 años	
		Suelo Depositacional	Suelo de loma- jes y cerros	Suelo Depositacional	Suelo de loma- je y cerros
EVALUACION PRELIMINAR (Después de 5 meses)					
C U M B R E	0	5,3 **	6,4 **	7,3 **	4,7 **
	15 V	14,1	10,5 *	63,9	31,6
	15 H	10,8 *	10,8 *	25,5	41,3
EVALUACION FINAL (Después de 16 meses)					
N O R T E	0	11,9 *	8,5 **	10,5 *	8,9 *
	15 V	12,6	8,3 **	18,4	12,9
	6 H	14,7	8,6 **	13,0	14,0 *
	15 H	14,5	8,3 **	16,5	13,7
C U M B R E	0	7,5 **	7,4 **	11,5 *	10,6 *
	15 V	15,3	9,6 *	21,0	14,0
	6 H	7,1 **	7,6 **	15,3	12,4
	15 H	12,4	9,8 *	24,7	13,5
S U R	0	8,5 **	8,0 **	7,9 **	10,1 *
	15 V	15,4	10,5 *	14,8	13,4
	6 H	12,9	9,2 *	17,7	13,0
	15 H	10,9 *	10,8 *	13,4	15,4

* Nivel marginal

** Nivel bajo

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Scheffé para la concentración de boro en el follaje (ppm) 16 meses después de aplicados los tratamientos (1).

Results of Scheffé test for foliage boron concentration (ppm) 16 month after fertilization.

Plantaciones de	F A C T O R						
	TRATAMIENTO				SUELO		EXPOSICION
4 años	0	6 H	15 H	15 V	L	D	N.S.
	8,6	10,0	11,1	12,0	8,9	12,0	
2 años	0	6 H	15 V	15 H	L	D	N.S.
	9,9	13,7	15,8	16,2	12,7	15,1	

(1) Los promedios estadísticamente iguales ($P < 0,05$), están unidos por una línea.

N.S. Análisis de varianza no significativo.

de lomajes y cerros permanecieron con niveles marginales a bajos incluso los árboles fertilizados.

En las plantaciones de dos años de edad se determinó niveles satisfactorios de concentración de boro en todos los árboles fertilizados, mientras que los árboles testigo mostraron siempre niveles marginales a bajos (Cuadros 2 y 3; Fig. 3).

Contenido de cenizas y peso de las acículas. El contenido de cenizas y el peso de las acículas no fueron influidos por los tratamientos de fertilización en ninguna de las plantaciones. Tal resultado concuerda con el obtenido por Kunz (1982), quien determinó que el contenido de cenizas presenta una baja sensibilidad a cambios en el estado nutritivo de los árboles.

Según Ballard (1977) la insuficiencia de boro reduce el crecimiento de las acículas. Pero, no obstante las significativas diferencias de la concentración de boro del follaje entre testigos y árboles fertilizados, el desarrollo de las acículas no mostró cambios significativos.

El peso de acículas además, puede ser influido por otras insuficiencias, distintas al boro, como son nitrógeno y fósforo, y que causan en ese caso un menor desarrollo del follaje (Will 1978). Sin embargo, el abastecimiento de los macroelementos nombrados fue en general satisfactorio, con excepción de algunos casos marginales de nitrógeno.

Síntomas visuales en los árboles. Multifecha, el síntoma más frecuente, fue el único que evidenció influencias significativas debido a los tratamientos de fertilización en las plantaciones de cuatro años de edad. Una disminución considerable de esta malformación se presentó especialmente con ambas dosis mayores de boronotrocalcita, en comparación con los testigos sin fertilizar (Figura 3).

Los valores de correlación entre el síntoma de multifecha y el nivel de boro en

el follaje fue de $r = -0,455$ para plantas de 4 años y $r = -0,355$ para las de los dos años, ambos con $P < 0,005$. También el síntoma muerte apical tuvo una correlación significativa con el nivel de boro en el follaje, siendo de $r = -0,384$ para plantas de 4 años y $r = -0,355$ para las de 2 años. Si bien los valores no son muy altos, ambos síntomas disminuyeron con el aumento de la concentración del elemento en el follaje. Este comportamiento indica que, ellos ocurren por causa de la carencia de boro, coincidiendo en tal sentido con lo descrito por numerosos autores (Tollenaar 1969; Ballard 1977; González *et al.* 1983).

En las plantaciones de dos años de edad los tratamientos de fertilización no provocaron efectos significativos en la sintomatología. Esto puede explicarse a través de lo expresado por González *et al.* (1983), quienes determinaron que en plantaciones de poca edad, en general los síntomas visuales no son buenos indicadores de la carencia de boro. Sólo en condiciones graves la presencia de síntomas afecta una alta proporción de árboles, por ejemplo más de un 40% con multifecha, porcentaje que no alcanzaron las plantaciones del presente ensayo (Figura 3).

Otros síntomas medidos como: ápice atrasado, ápice secundario, amarillamiento del follaje y largo de acículas, no presentaron una correlación con la carencia de boro ni tuvieron un cambio importante con la fertilización.

El largo de acículas mostró poca variabilidad coincidiendo esto con lo que determinaron Vebel y Trilimich (1976). El amarillamiento del follaje, si bien puede ser provocado por la insuficiencia de boro (Tollenaar 1969; Ballard 1977), es un síntoma común para otras carencias nutritivas o de agua. El ápice atrasado y el ápice secundario se presentaron como síntomas en menos de un 10% de los árboles.

Después de 30 meses de efectuada la

fertilización y luego de un verano y otoño muy secos, como los ocurridos en 1978 y 1979 (Figura 1) se encontró que, en la plantación de dos años de edad establecida en el suelo de lomajes y cerros, los tratamientos con fertilización mostraban menores diferencias entre sí, pero más pronunciadas con respecto al testigo sin fertilizar, no obstante que en todos los casos se manifestó una alta proporción de síntomas, como se discute más adelante. La tendencia a igualarse los efectos de los tratamientos de fertilización de distinta dosis en el transcurso del tiempo fue detectada por González *et al.* (1983).

En esta evaluación se determinó que el 64% de los árboles del tratamiento 15H presentaba ápices normales, mientras que el 22% tenía multifecha y el 17% ápice muerto. En el tratamiento 6H la proporción de síntomas fue levemente mayor a 15H, pero inferior a 15V. En el testigo sin fertilizar, estos valores fueron de sólo 25% de árboles normales, 47% con multiflecha y 46% con muerte apical. Estos síntomas, por la proporción en que se encuentran, está indicando una insuficiencia fuerte de boro en los testigos sin boronatrocalcita. En cambio, en los árboles con boronatrocalcita la carencia sería sólo marginal.

El efecto de los tratamientos de fertilización a través del tiempo, observado tanto en la concentración de boro del follaje como en la sintomatología, demuestran que los mejores resultados se consiguieron inicialmente con la dosis mayor de boronatrocalcita aplicada en hoyo o al voleo.

Sin embargo, transcurridos 30 meses, la tendencia fue de homogenización de tales efectos en los tres tratamientos de fertilización, con* una leve supremacía del tratamiento 15H respecto de 15V y 6H. También es destacable, después de 30 meses, la mejor forma de los árboles (ápices) fertilizados respecto a los no fertilizados.

Resultados similares a éstos encontraron González *et al.* (1983), 30 meses después de fertilizar plantaciones de dos años de edad con 4 g de boro como boronatrocalcita aplicada tanto en hoyo como al voleo. Aquellas plantaciones estaban establecidas en un suelo de textura similar al de este ensayo. Estos autores estiman que el efecto de tales tratamientos puede durar tres o más años.

Crecimiento de los árboles. La corrección de la insuficiencia de boro no produjo un mayor crecimiento de las plantaciones (Figura 3). Esto ha sido observado en numerosos ensayos similares que demuestran que la respuesta a la fertilización con boro está dada fundamentalmente por la recuperación del hábito normal de crecimiento (Stone, Will 1965; Arana, Jiménez 1981; González *et al.* 1983).

Sin embargo, también se ha observado como respuesta a la fertilización con boro un crecimiento significativo en la altura de los árboles (Tollenaar 1969). Estas diferencias de resultados puede explicarse por un lado debido a la existencia o no de otros factores del sitio restrictivo del crecimiento. En este ensayo hubo otras limitantes del crecimiento relacionadas a la fertilidad del suelo (que se plantean en el capítulo siguiente). Por otra parte, puede haber una respuesta en el crecimiento en altura cuando se corrigen deficiencias graves que producen una muerte apical recurrente (González *et al.* 1983).

La mortalidad de los árboles no fue afectada por la fertilización con boro y, según González *et al.* (1983), tampoco es atribuible a la carencia de este elemento. En consecuencia, las causas de mortalidad de algunos árboles se deben a otros factores como son: limitantes edáficas, el método de plantación, la competencia de malezas y el clima.

Efectos de otros factores del sitio en el desarrollo de los árboles

Tipo de suelo.- Como ya se ha indicado en la interpretación y discusión anteriores, el tipo de suelo ha influido en el resultado del ensayo y explica ciertas variaciones en el desarrollo de los árboles.

Es interesante observar que el contenido de boro en el follaje fue mayor en las plantaciones establecidas sobre los suelos de origen depositacional (Figura 3, Cuadro 3). Esto explica por qué en estos suelos se determinó una menor proporción de los síntomas multifecha, muerte apical y ápice secundario.

Por otra parte, las plantaciones sobre suelos de lomajes y cerros presentaron una menor proporción de árboles con síntomas de amarillamiento en el follaje y un mayor contenido de cenizas en éste. Probablemente esto se debe a los cambios de fertilidad en el suelo, tanto de capacidad de agua como también de disponibilidad de ciertos elementos nutritivos.

Los datos de crecimiento de los árboles a las edades consideradas, en altura y diámetro, indican que sobre los suelos de origen depositacional el desarrollo es mejor. Sin embargo, la mortalidad fue mayor en estos suelos. Esto último puede haber sido causado por otros factores como el método de plantación, pero en general estos suelos presentan una textura más favorable y una capacidad de agua aprovechable mayor en el horizonte A, lo cual es de influencia significativa en el desarrollo (Schlatter, Gerding, Bonnefoy 1982).

Exposición del terreno.- Las diferencias en exposición no tuvieron relación con los contenidos de boro (Cuadro 3) y cenizas ni con el peso de las acículas. Sin embargo, hubo un mayor número de árboles con síntomas de insuficiencia (multifecha, muerte apical y largo de acículas) y éstas fueron más pronunciadas en las exposicio-

nes Norte y Cumbre, ambas más secas y calurosas (Figura 3). Esto se explica con lo publicado por Lambert (1980) quien determinó que, los síntomas son más severos cuando la oferta de agua es más limitada, aun cuando el nivel de boro foliar sea similar.

El afecto de la exposición se manifiesta principalmente en las plantaciones de edad mayor, desde los 4 años. Así, las plantaciones de 2 años que al inicio no indicaron efecto por exposición, mostraron hasta un 50% más del número de árboles con síntomas de insuficiencia en las exposiciones más secas (Norte y Cumbre), al cabo de 30 meses de tratadas.

Como esperado, la exposición tiene, a través del régimen de agua, un efecto significativo en el crecimiento de los árboles. En las exposiciones Sur el desarrollo de los árboles en altura y diámetro, como también en sobrevivencia fue mejor (Figura 3).

La tendencia aquí explicada sufre modificaciones cuando existe un drenaje imperfecto del suelo. Especialmente en posiciones de Cumbre, de menor pendiente, este factor afectó el desarrollo de los árboles.

Relaciones entre el suelo y el contenido de boro en el follaje.

A través de las parcelas testigo se encontraron correlaciones significativas entre la concentración de boro en el follaje y ciertas características del suelo superficial. Con el contenido de carbono total (materia orgánica) del horizonte superior, la profundidad de este horizonte y su capacidad de agua aprovechable hubo una correlación positiva (Figura 4). En cambio, una correlación negativa se encontró con la densidad aparente del suelo superficial ($P < 0,05$).

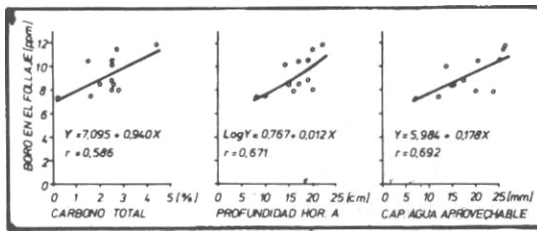


Fig. 4. Correlación del contenido de boro en el follaje con el contenido de carbono total, la profundidad y la capacidad de agua aprovechable del horizonte superior del suelo.

Upper soil horizon carbon, depth and available water capacity in correlation with foliage boron concentration.

Según tales relaciones, en estos suelos se favorece la concentración de boro en el follaje de los árboles cuando el horizonte superior es más profundo y cuando en él hay un aumento del contenido de carbono total y de la capacidad de agua aprovechable, y además cuando existe una disminución de la densidad aparente. Estos resultados demuestran la dependencia de la absorción de boro respecto a propiedades del suelo que condicionan tanto su régimen de agua, en especial al almacenamiento de agua aprovechable para las plantas, como también la reserva del elemento nutritivo y la arraigabilidad.

La dependencia de la absorción de boro respecto al suministro de agua, lo mismo que su estrecha relación con la materia orgánica del suelo, han sido demostradas en numerosas oportunidades (Zoettl 1973; Mengel, Kirkby 1978; Adams 1979). Además, Merino, Etchevers y Matamala (1974) encontraron una correlación positiva significativa entre el contenido de materia orgánica de un suelo Cauquenes y el boro extractado de éste con agua caliente. Queda explicado, a través de esto, el efecto de la exposición discutido anteriormente.

También el clima juega un papel muy importante en el grado de absorción de boro por parte de los árboles. La cantidad y distribución inadecuada de las precipita-

ciones a través del año pueden inducir insuficiencias de este elemento, especialmente en suelos desarrollados a partir de rocas graníticas originalmente pobres en boro, con desfavorables características físicas y arraigabilidad limitada. Tal dependencia con el clima en estos suelos ha sido observada a través de los síntomas visuales en los árboles, en concordancia con los años de bajas precipitaciones mostradas en la Figura 1.

A lo anterior hay que señalar que agravan las condiciones de insuficiencia de boro una fuerte competencia de malezas, especialmente Gramíneas (Zoettl 1973) y una alta densidad del suelo que restringe el desarrollo radicular especialmente "cuando se planta con barra plantadora (Schubert, Adams 1971). Tales circunstancias se dieron en el presente estudio.

CONCLUSIONES

— Los tratamientos de fertilización produjeron un aumento significativo en la concentración de boro del follaje de las plantaciones de dos años de edad. Esto fue efectivo desde el primer período vegetativo, superándose la insuficiencia grave de este elemento. Similares efectos hubo en las plantaciones de cuatro años de edad establecidas sobre el suelo granítico depositacional, pero en aquellas sobre el suelo granítico de lomajes y cerros no hubo una corrección adecuada de la insuficiencia de boro con la fertilización.

— Con el mayor nivel de boro foliar disminuyó la proporción de los síntomas multiflecha y muerte apical, características de la insuficiencia. Esto mejoró la forma de los árboles pero no causó respuesta significativa en el crecimiento.

— No hubo diferencias significativas en los efectos de los tres tratamientos de fertilización aplicados. Pero, 15 g de boronatrocalcita en hoyo mostró la propensión a ser

más efectivo a mayor plazo en estos suelos.

- Se determinó que los factores tipo de suelo, exposición del terreno y edad de la plantación tienen efectos significativos en el desarrollo de los árboles o en el efecto de la fertilización.

- La concentración de boro del follaje de árboles no fertilizados está correlacionada positivamente con el contenido de carbono total, la profundidad y la capacidad de agua aprovechable del horizonte superior del suelo.

—Suelos graníticos de origen depositacional en el área de estudio presentan una textura y capacidad de retención de agua más favorables que los suelos de lomajes y cerros, permitiendo así un mejor desarrollo de los árboles.

—Las exposiciones Norte y Cumbre son más críticas que las del Sur. Esta última presenta un régimen de agua más favorable. La exposición Norte es más seca y la posición en Cumbre a menudo está rela-

cionada a suelos de menor pendiente con drenaje imperfecto en el subsuelo.

— Las plantaciones de cuatro años presentan síntomas más pronunciados por su tiempo más prolongado a las condiciones de carencia de boro, reflejando, a su vez, mejor las variaciones de las condiciones de sitio. En general la respuesta a la fertilización fue mayor en los sitios de condición más crítica, tanto de suelo como de exposición y edad.

— El estudio permite la siguiente hipótesis: las plantaciones de *Pinus radiata* presentan buena respuesta a la fertilización boronotrocalcita, la que debiera efectuarse al inicio del 2º período vegetativo. El efecto de tal fertilizante mejora significativamente con una preparación física del suelo previa a la plantación y con el control de malezas aplicado con la plantación. Tales medidas son especialmente necesarias en suelos graníticos de lomajes y cerros, cuyas características físicas en el sector son más limitantes para la especie.

REFERENCIAS

- ADAMS, J. 1979. Fertilización en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. Documento de Trabajo N° 19. FO:DP/Proyecto CONAF/FAO/PNUD/CHI/76/003. Santiago. 58 p.
- ARANA, M.; JIMENEZ M. 1981. Fertilización con nitrógeno, fósforo, boro y cobre en plantaciones de uno, dos y tres años de edad *de Pinus radiata* D. Don, en la VI Región. Tesis Ing. For., Escuela de Ingeniería Forestal, Fac. de Agronomía y Medicina Veterinaria. Universidad de Chile. Santiago. 95 p.
- BALLARD, R. 1977. Predicting fertilizer requirements of production forest. In: Use of fertilizers in New Zealand forestry. FRI Symposium N° 19 N.Z.F. Service. For. Res. Institute, Rotorua. p: 33-44.
- . 1978. Use of fertilizers at establishment of exotic forest plantations in New Zealand. N.A. Journal of For. Sci. 8 (1); 70-104.
- DOWNIE, N.; HEATH, R. 1979. Métodos estadísticos aplicados. Haría, México. 373 p.
- FUENZALIDA, P. 1965. Clima. In: Geografía económica de Chile. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción, Santiago, pp: 99-152.
- GERDING V.; PUENTES O.; SCHLATTER J.E.; GONZALEZ P. 1982. Respuesta de *Pinus radiata* D. Don a fertilización con boro en suelos graníticos, provincia de Malleco. Informe de Convenio N° 52. Fac. de Ciencias Forestales, U.A.CH., Valdivia. 90 p.
- GONZALEZ V.G.; GONZALEZ L.; MILLAN J.; ESCOBAR E. 1983. Estudio de fertilización en plantaciones de *Pinus radiata*. Primeros resultados. Documento de Trabajo N° 51. FO:DP/CHI/76/003. Corporación Nacional Forestal, Santiago. 159 p.
- GONZALEZ, M; KONOW V. 1981. Ensayos de corrección de carencias de cobre y boro en plantaciones de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don). In: Tercer Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Santiago pp: 100-101.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS NATURALES. 1964. Suelos. Descripciones Pro-

- yecto Aerofotogramétrico, Chile/OEA/BID/IREN/CORFO. Santiago. 391 p.
- KUNZ, M. 1982. Determinación del nivel nutritivo de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de diferente edad. Tesis Ing. For. Fac. de Cs. Forestales, U.A.CH., Valdivia 123 p.
- LAMBERT, M. 1980. For. Comm. N.S.W. International Report (14 pp). cit. Hill J. y Lambert, M. 1980. Physiology and management of micronutrients in forest trees in Australiasa. In: Proceedings Austral For. Nutrition-Workshop. Productivity in perpetuity, 93-103. Australian Forestry Council.
- LAMBERT, M.; J. TURNER. 1977. Dieback in high site quality *Pinus radiata* stands - The role of sulphur and boron deficiencies. New Zealand Journal of Forestry Science 7 (3): 333-348.
- MEAD, D.; G. WILL. 1976. Seasonal and between tree variation in the nutrient levels in *Pinus radiata* foliage. New Zealand Journal of Forestry Science. 6(1): 3-13.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. 1978. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Berna. 593 p.
- MERINO, H.; ETCHEVERS J., MATAMALA P. 1974. Efectos de la época de muestreo sobre los contenidos de boro del suelo y hojas en viñedos de secano del Centro Sur de Chile (34-36°S). Turrialba 24(4): 387-392.
- ODEPA. 1968. Plan de Desarrollo Agropecuario. 1950-1980. Unidades Agrícolas de los Suelos de Chile entre las Provincias de Aconcagua y Chiloé. Ministerio de Agricultura, Santiago (11 mapas). 12 p.
- PUNTES, O. 1979. Proyecto Boro: Fertilización de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la Provincia de Malleco, IX Región. Corporación Nacional Forestal, Temuco. 9 p.
- SCHEFFE, H. 1959. The Analysis of Variance. Wiley. New York. 477 p.
- SCHLATTER, J.: V. GERDING; M. BONNEFOY. 1982. Factores del sitio de mayor incidencia en la productividad de *Pinus radiata* (D. Don). In: Reunión de Trabajo sobre Evaluación de la productividad de sitios forestales. Valdivia, pp: 61-95.
- SCHLATTER, J.E.; R. GREZ; V. GERDING. 1981. Manual para el reconocimiento de suelos. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia. 81 p.
- SCHUBERT, G; R. ADAMS. 1971. Reforestation Practices for Conifers in California. California Resources Agency. Sacramento. 359 p.
- SOKAL, R.; J. ROHLF. 1979. Biometria. Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica. Blume, Madrid. 775 p.
- STONE, E.; G. WILL. 1965. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. Forest Science 11 (4): 425-433.
- TOLLENAAR, H. 1969. Deficiencia de boro en plantaciones de pino, en la zona Central de Chile. Agricultura Técnica. 29 (2): 85-88.
- VEBEL, E.; H. TRILIMICH. 1976. Resultados de un ensayo realizado en potes a fin de comprobar la influencia que sobre la vida edáfica y el crecimiento de los pinos nacidos de semillas ejerce la aplicación de N, K y Mg a un suelo arenoso. Instituto Internacional de la Potasa. Revista de la Potasa. Sec. 22 (23 a): 1-8.
- WILL, G. 1978. Nutrient deficiencies in *Pinus radiata* in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science. 8 (1): 4-14.
- ZOETTL. H. 1973. Fortalecimiento del Programa Nacional Forestal. Informe final. Proyecto CONAF/FAO/PNUD/CHI/66/526. Santiago. 30p.

Recibido Septiembre 1984.

Los autores

- VICTOR GERDING. Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales. Univ. Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia - Chile.
- OSCAR PUNTES. Ingeniero Forestal, Corporación Nacional Forestal. Ismael Valdés 431, Valdivia Chile.
- JUAN SCHLATTER. E. Profesor, Dr. Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, U.A.CH. Casilla 567, Valdivia - Chile.
- PABLOGONZALEZ. Ingeniero Forestal, Casilla 567, Valdivia - Chile.