

C. D. O.: 114.26

DEFICIENCIA DE BORO EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* D. DON  
EN CHILE II. PRINCIPALES CAUSAS Y CORRECCION

J. E. Schlatter; V. Gerding

SUMMARY

The present work review's the knowled-ge about cause, effect and correction of the boron deficiency in *Pinus radiata* plan-tations. These compilation is focused to the Chilean situation and it can be empha-sized in the following aspects: the detec-tion and correction of boron deficiency are methodologicaly known: It is reco-mmended to apply a preventive fertiliza-tion before pine plantations are 2 years old within soils prone to the deficiency. There is a high relation between boron availability and soil fertility. Forest mana-gement tend to mantain or improve soil fertily in order to solve the problem in the long term.

RESUMEN

El presente trabajo es una recopilación de antecedentes sobre causas, efectos y corrección de la deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata*. La recopilación está orientada a la situación chilena, destacando entre sus conclusiones las si-guientes: la detección y corrección de la deficiencia de boro es conocida metodoló-gicamente. Se recomienda aplicar una fer-tilización preventiva antes que la planta-ción cumpla dos años en aquellos suelos propensos. Existe una estrecha relación

entre la disponibilidad de boro y la ferti-lidad del suelo. El manejo forestal debería mantener o mejorar la fertilidad del suelo con el fin de prevenir el problema en el largo plazo.

INTRODUCCION

La deficiencia de boro es un problema nutricional que se presenta en la principal zona de distribución de *Pinus radiata* en Chile. El origen del abastecimiento insuficiente del elemento en esta especie se en-cuentra principalmente en el material de origen del suelo. Sin embargo, existen otros factores tanto del mismo suelo, co-mo también del clima y de la propia plan-tación que favorecen la aparición de la de-ficiencia o bien la agravan. A los factores de sitio mencionados debe agregarse la in-fluencia que el hombre haya tenido sobre la fertilidad del suelo, a través del uso.

Todos los factores anteriormente men-cionados y sus interrelaciones han sido ob-jeto de estudio por numerosos autores que han encontrado interesantes resulta-dos que explican el fenómeno. Tales resul-tados fueron determinados generalmente para situaciones específicas, de allí que sea importante analizar el problema en forma integral para su mejor comprensión.

El presente trabajo es una recopilación de antecedentes sobre la deficiencia de bo-

ro en plantaciones de *Pinus radiata* orientada a la situación chilena. Para un adecuado ordenamiento temático, se tratará en primer lugar la influencia de los distintos factores del sitio causantes de la deficiencia de boro y luego su efecto y corrección.

#### *El clima y la posición geográfica del sitio.*

El clima a través de las precipitaciones, es un factor de importancia en la ocurrencia de la deficiencia de boro. Cuando el suelo se seca, por precipitaciones insuficientes de un lugar, baja la disponibilidad de boro por fijación (Scheffer, Schachtschabel 1970), lo que es más frecuente en zonas climáticas con un período seco prolongado. En tales zonas, como aquellas entre Valparaíso y Malleco (climas Csbl y Csb<sub>2</sub>) (Fuenzalida 1965), la probabilidad de ocurrencia de la deficiencia de boro es mayor. Esto se agrava en combinación con suelos de baja capacidad de almacenamiento de agua aprovechable para las plantas.

El efecto de un período seco prolongado se pronuncia en laderas de exposición Norte y Nor-Oeste, más calurosas y secas. Esto pudo ser comprobado en la provincia de Malleco donde se determinó una buena relación entre las exposiciones más secas y calurosas en posiciones de cumbre y laderas norte, con un agravamiento de los síntomas de deficiencia de boro (Gerding *et al.* 1982).

En Chile las serranías de la costa alejadas de la influencia del mar también son en general más secas (faldeos orientales), existiendo en ellos una mayor probabilidad de ocurrencia de la deficiencia de boro. Al contrario, los faldeos occidentales de la Cordillera de la Costa bajo influencia del mar, presentan mejores condiciones de humedad. Además, tal posición geográfica obtiene mayor incorporación de boro por

las precipitaciones, debido a que el océano rico en reservas de boro, aporta cantidades significativas de este elemento a la atmósfera que, luego precipita cerca de la costa (Rankama, Sahama 1954; Scheffer, Schachtschabel 1970). Por ellos existe menor probabilidad de ocurrencia de la deficiencia de boro en plantaciones mientras más cercanas al mar y a su influencia se encuentren éstas.

Otro factor importante del clima es el carácter cíclico de la cantidad de precipitaciones anuales y su distribución. Existen años de precipitaciones más abundantes y otros más secos. La deficiencia de boro se acentúa especialmente en los años secos, por su menor disponibilidad en el suelo. Esto pudo ser comprobado en un ensayo de fertilización con boro en la provincia de Malleco, durante el cual los síntomas de deficiencia incrementaban en años secos y prácticamente desaparecían en años de precipitaciones adecuadas (Gerding, *et al.* 1982 b). Un fenómeno similar describieron para Australia y otros países Lambert y Turner (1977), donde los daños más severos se observaron después de períodos de sequía. En Australia se determinó además que, mientras menor es la cantidad de precipitaciones acumuladas en invierno y primavera de un año, tanto más destacaban los síntomas de deficiencia de boro, apareciendo éstos con niveles de concentración foliar más altos (Lambert 1980).

Los resultados informados por los estudios australianos citados anteriormente, corroboran que la disponibilidad del boro en el suelo es dependiente del balance hídrico del sitio. Esto queda demostrado además con las observaciones hechas en Chile, VIII y IX Regiones, donde cultivos de vid y de pino, ubicados en laderas de exposición sur, más húmedas, presentan menor sintomatología que aquellos establecidos en laderas más asoleadas, a pesar de indicar niveles de boro similares (Meri-

no *et al.* 1974, Gerding *et al.* 1982). Deben tomarse en consecuencia las respectivas precauciones en el diagnóstico nutricional (Stone, Will 1965) y es necesario que éste sea evaluado en base a métodos analíticos y no sólo empíricos, en especial a través de un análisis foliar (Schlatter, Gerding 1984).

#### *Material de origen de los suelos.*

El contenido de boro en el material de origen del suelo es un factor decisivo en su abastecimiento para las plantas. Es conocido que los niveles de boro en rocas sedimentarias de hasta 100 ppm, es generalmente más alto que en rocas ígneas con valores de hasta alrededor de 15 ppm como es el caso de los granitos (Mengel, Kirkby 1978). Contenidos elevados de boro se presentan con valores de hasta 200 ppm en sedimentos marinos (Scheffer, Schachtschabel 1970) lo que tiene relación con el ciclo del boro en la naturaleza el cual presenta una tendencia a ser enriquecido en el mar (Rankama, Sahama 1954).

De acuerdo con lo anterior, un suelo puede ser más o menos rico en boro dependiendo del material del que se ha originado. En suelos derivados de materiales graníticos y en aquellos desde materiales volcánicos, incluidos en éstos las arenas aluviales continentales y los lugares cerca de los conos volcánicos, el contenido de boro del material formador es generalmente bajo. Según Lambert y Turner (1977) la deficiencia de boro, asociada con deficiencia de azufre, se presenta principalmente en materiales ígneos de origen intrusivo y extrusivo como son las rocas graníticas, el basalto y las cenizas volcánicas. Según Mengel y Kirkby (1975), la mayor frecuencia de la deficiencia de boro se presenta en suelos derivados de rocas ígneas ácidas. De tal modo, es de espera que

rocas metamórficas de origen ígneo también presentan un contenido bajo en el elemento. En cambio, el contenido en rocas metamórficas de origen sedimentario y en dunas litorales es, en general, más elevado.

El contenido de boro depende también del grado de desarrollo o evolución que ha experimentado el material formador del suelo. Así, suelos muy meteorizados o lixiviados presentarán menores contenidos de boro, relación que también ha sido informada por Stone y Will (1965) y Lambert y Turner (1977). La probabilidad de una deficiencia del elemento en estos casos está muy relacionada a las demás características que haya logrado el suelo en su evolución y que definen su fertilidad.

#### *Fertilidad del suelo.*

La fertilidad del suelo es un concepto complejo porque engloba todas las características de éste. Una de tales características es la profundidad de arraigamiento que define el volumen accesible para las raíces.

Las plantas en sus primeros años de vida son más susceptibles a períodos prolongados de sequía porque poseen un sistema radicular restringido. Es decir, ocupan el suelo superficial el cual está expuesto a sequedad y con ellos se dificulta el abastecimiento de boro. Esto explica por qué muchas plantaciones sufren sólo durante ciertos años de deficiencia de boro, hasta que desarrollan un sistema radicular suficientemente profundo que alcanza al subsuelo menos susceptible a sequedad. En *Pinus radiata* tal cambio sucede a los 4 - 5 años de edad aproximadamente como pudo comprobarse en plantaciones jóvenes de la especie (Gerding *et al.* 1982). Sin embargo, la edad en que ello ocurre también depende de las características de arraigabilidad del suelo, de la competencia

de malezas y de la calidad de las plantas y de la plantación efectuada. Por otra parte, en suelos muy pobres en boro el abastecimiento insuficiente de este elemento puede ser permanente.

Las raíces profundizadoras pueden, en algunos casos alcanzar estratos de distinto material en el subsuelo, más ricos en boro. Esto es común para la serie de suelos Correltué en Valdivia, la que se caracteriza por estar formada de cenizas volcánicas pleistocénicas que cubren roca metamórfica sedimentaria del tipo micaesquistos. En tal caso, las plantas lograron mejorar su nivel de boro foliar, al alcanzar sus raíces el sustrato micaesquístico, desapareciendo la deficiencia (Kunz 1982).

El desarrollo de las raíces, sin embargo, es a menudo limitado por condiciones de drenaje restringido o por una alta densidad del suelo, lo que, en suelos muy lixiviados o de material formador pobre en boro, agrava la deficiencia (Moll 1972; Lambert, Turner 1977; Delmastro *et al.* 1981).

El régimen hídrico y en especial el contenido de agua aprovechable del suelo, es de gran importancia para la ocurrencia de la deficiencia de boro. En un estudio de la provincia de Malleco, se determinó una estrecha asociación positiva entre la capacidad de agua aprovechable del suelo y la concentración de boro foliar, indicando que con mayor disponibilidad de agua en suelos graníticos el abastecimiento de boro para las plantas fue mejor (González 1982).

La capacidad de agua aprovechable del suelo y sus reservas nutritivas, dependen en gran parte del contenido de materia orgánica del suelo. Ella es, además, una de las reservas más importante de boro en el suelo y uno de los componentes esenciales del ciclo de este elemento en la naturaleza por su carácter biófilo en el ambiente terrestre (Rankama, Sahama 1954).

Entre el contenido de materia orgánica

y de boro del suelo se ha determinado una estrecha correlación. Un ejemplo para Chile ha sido informado por Merino *et al.* (1974) para viñedos establecidos sobre suelos de origen granítico. Esto se debe a que en el suelo superior rico en materia orgánica se produce una concentración del elemento (Scheffer, y Schachtschabel 1970). Este fenómeno explica la alta correlación positiva encontrada entre el contenido de materia orgánica y la profundidad del horizonte A con el nivel de boro foliar en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata*, establecidas sobre suelos graníticos en la provincia de Malleco (González 1982). También explica en gran parte las observaciones de otros autores que la deficiencia de boro es más grave en suelos erosionados, especialmente en aquellos lugares en que se ha perdido gran parte del suelo superficial (Stone, Will 1965; Tollenaar 1969; Zoetl 1973; Lambert, Turner 1977; Adams 1979).

Una acumulación de sales solubles de boro en el suelo no es posible en climas húmedos por su fácil lixiviación. Esto explica su bajo contenido en suelos muy meteorizados y lixiviados, como pudiera ser el caso de los suelos arcillosos y arenosos respectivamente. En los rojos arcillosos, los minerales de arcilla y los óxidos de Al y Fe, que lo componen en proporciones altas, pueden además fijar el boro (Scheffer, Schachtschabel 1970). Una explicación similar es válida también para la baja disponibilidad de boro en suelos graníticos ricos en arcillas y en suelos derivados de cenizas volcánicas pleistocénicas, generalmente arcillosos y enriquecidos en sesquióxidos. En suelos de cenizas volcánicas holocénicas también actúa la alofana como fue comprobado por Bingham *et al.* (1970) para suelos ricos en alofana en México y Hawaii.

La reacción del suelo o pH también, es un índice de la disponibilidad de boro en el suelo. Con un pH sobre 6 disminuye la

disponibilidad de boro para las plantas (Scheffer, Schachtschabel 1970). Sin embargo, niveles de reacción tan elevados no son el caso general para los suelos forestales de Chile Central.

#### *Uso histórico del suelo y su manejo.*

El uso histórico y el manejo influyen la fertilidad del suelo y a través de ella la disponibilidad de boro para las plantas. Algunos aspectos sobre esta temática se discuten a continuación.

*Condiciones heredadas del suelo.* Los terrenos en que se ha establecido *Pinus radiata*, han sido utilizados previamente por el hombre para diversos fines agropecuarios (Schlatter 1977) y gran parte de ellos afectados por procesos de erosión significativos (Iren 1965). Las plantaciones con deficiencia de boro se localizan en gran parte de tales terrenos erosionados, a excepción de pocos sitios al sur de los 39° lat. S. y de los arenales (Schlatter, Gerding 1984).

Es conocido que la erosión del suelo afecta en primer lugar al suelo superficial rico en materia orgánica. La pérdida del horizonte superior mineral-orgánico, como ya se indicó anteriormente significa una disminución importante de reservas de boro del suelo. Esto es más grave en suelos de material de origen ígneo, especialmente del grupo granítico, acentuándose en aquellos muy meteorizados ya que el contenido de boro del suelo mineral residual es muy bajo. La situación descrita explica que en este tipo de suelos se hayan determinado las deficiencias más graves.

A lo anterior se agrega que los suelos afectados presentan en su mayoría algún grado de compactación. Este fenómeno no es sólo consecuencia de la erosión del suelo superficial más fértil, quedando el

subsuelo expuesto, sino que también del trato que éste ha experimentado, tal efecto limita el desarrollo de las raíces y con ello se agrava la deficiencia de boro (Schlatter, Grez 1978; Gerding *et al.* 1982).

*Manejo Forestal.* Los procesos de erosión también se presentan durante la explotación forestal y la preparación del terreno para la plantación, especialmente si se utilizan métodos inadecuados a las condiciones topográficas y del suelo. Esto significa que parte importante de las reservas del boro de la materia orgánica puede perderse y agravar la diferencia de una rotación a la siguiente. Tal efecto puede ser más marcado al utilizar fuego en la limpia del terreno, ya que después de éste se facilita la solubilización de las sales minerales contenidas en la materia orgánica incluyendo al boro, y con ello se expone a éstas a la erosión o lixiviación. Este último caso es especialmente delicado en los suelos (Squire, Flinn 1981).

Ballard y Will (1981) efectuaron un estudio de Nueva Zelanda en que comprueban que la extracción continua de biomasa de un sitio con plantaciones de pino causa una paulatina baja en la fertilidad del suelo, siendo el boro uno de los elementos más afectado. Es decir, una disminución significativa de la materia orgánica del suelo por esta vía, también afecta la disponibilidad del elemento.

El manejo forestal en plantaciones de *Pinus radiata* deberá prever en consecuencia, el uso de métodos de conservación y mejoramiento de suelos que consideren el comportamiento del elemento boro entre los factores de importancia para su desarrollo.

Importante también es prever la adecuada preparación del suelo para la plantación, pues una inadecuada calidad de plantas (raíz) y de las faenas de plantación, pueden impedir el buen desarrollo de las raíces, agravando el problema. También la

competencia de malezas, especialmente de gramíneas adaptadas al bajo abastecimiento de boro, puede acentuar su deficiencia en plantaciones de pino (Zoettl 1973; Lambert, Turner 1977; Mengel, Kirkby 1978).

#### EFFECTO SOBRE LAS PLANTAS Y CORRECCION DE LA DEFICIENCIA DE BORO

##### *Función del boro en la planta y efectos de su deficiencia.*

El boro cumple importantes funciones en la fisiología de las plantas. Según la recopilación efectuada por Mengel y Kirkby (1978), éstas pueden sintetizarse en aquellas que tienen relación con su participación en la síntesis de ácidos nucleicos y la translocación de azúcares; en la formación de polihidroxidos componentes de la pared celular (estructura fina); y, en la división y el desarrollo celular. Según tales funciones el elemento es de importancia en la formación de tejidos. Sin embargo, los autores mencionados señalan que aún debe definirse su verdadero rol bioquímico.

La absorción del boro por las plantas y su posterior transporte en ella, siguen el flujo del agua en forma de un proceso predominante pasivo. Una vez incorporado al metabolismo de la planta, se comporta como un elemento relativamente inmóvil, existiendo una gradiente positiva de concentración hacia los tejidos en la parte alta de ésta. Su transporte se realiza a través del xilema y está prácticamente ausente en la savia elaborada (Mengel, Kirkby 1978).

La deficiencia de boro impide los procesos fisiológicos en que participa y puede causar daños en el tejido vascular, lo cual restringe o inhibe el transporte del agua.

Se manifiesta en los puntos apicales, tanto del vástago como también de la raíz (Cohen, Lepper 1977; Mengel, Kirkby 1978). Según los últimos autores una deficiencia pronunciada produce muerte de los ápices y toda la planta presenta un crecimiento reducido, además se inhibe la floración y fructificación.

En *Pinus radiata* los síntomas de deficiencia de boro comienzan a presentarse generalmente a partir del segundo año de la plantación. Sin embargo, en algunos casos pueden aparecer al final del primer período vegetativo después de efectuada la plantación, como es descrito por González *et al* (1983) para suelos de arenales, de muy baja capacidad de retención de agua. En Chile los síntomas han sido descritos por diferentes autores (Tollenaar 1969; Zoettl 1973; Gerding *et al.* 1982; Kunz, 1982; González *et al.* 1983). Una descripción detallada del fenómeno fue publicada por Stone y Will (1965). De tales antecedentes puede sintetizarse lo siguiente para la especie:

a) *deficiencia leve*: el brote apical de la flecha se retrasa en su desarrollo, observándose exudaciones de resina con un color amarillento y clorosis en sus puntas. El vástago tiene un aspecto de menor turgencia, más leñoso. En algunos casos los crecimientos de la flecha y de las ramas laterales se presentan torcidas y/o de menor vigor.

b) *deficiencia moderada a grave*: cuando la deficiencia se acentúa, en general el ápice se presenta de menor turgencia y muere luego de un proceso similar al marchitamiento, presentando exudaciones de resina o bolsas de resina y manchas pardas en su médula. Este proceso se presenta al final del período vegetativo si la deficiencia es moderada o antes, incluso a fines de primavera, si ésta es grave. Entre el ápice muerto y el tejido normal existe a menudo una zona transicional. Bajo ella la planta produce nuevos brotes que posterior-

mente reemplazan a la flecha o también mueren, al igual que los brotes apicales de las ramas superiores, en caso que la deficiencia sea grave. En situaciones extremas, el árbol permanece con un carácter arbustivo y la floración y fructificación es inhibida. También las raíces generalmente son escasas, engrosadas y de puntas negróticas, presentándose un raquitismo general.

De los síntomas anteriormente descritos, algunos son bien específicos para boro. Así, por ejemplo, la formación de varias flechas (flecha múltiple, escoba de brujas) la muerte fisiológica del ápice y el crecimiento arbustivo están altamente correlacionados con esta deficiencia (Tollenaar 1969; Gerding *et al.* 1982; González *et al.* 1983). En cambio la clorosis o coloración del follaje y su insuficiente crecimiento, así como también el crecimiento sinuoso de la flecha y las ramas, pueden deberse a otras deficiencias nutritivas.

En muchos terrenos la deficiencia de boro va acompañada de un insuficiente abastecimiento de otros elementos de baja disponibilidad en el suelo, entremezclándose diferentes síntomas que dificultan el diagnóstico visual. Por otra parte, es común encontrar árboles deficientes junto a árboles aparentemente normales, debido a variaciones en el suelo o a variaciones genéticas de la especie.

Como consecuencia del insuficiente abastecimiento de boro, puede presentarse desde un retardamiento del desarrollo de un árbol, hasta su malformación con los correspondientes efectos sobre la calidad de su fuste (madera).

#### *Corrección de la deficiencia de boro*

La deficiencia de boro es corregible, como ya se ha podido determinar en algunos ensayos de fertilización en plantaciones de *Pinus radiata*, tanto en otros países como también en Chile Central (Tollenaar

1969; Gerding *et al.* 1982; González *et al.* 1983). La temprana aparición de síntomas visuales específicos que indican su existencia, permite tomar medidas de corrección oportunas. Sin embargo, como actualmente se conoce la relación entre la ocurrencia de la deficiencia de boro en plantaciones de pino y los factores que la causan, es preferible tomar medidas de prevención. Estas son más aconsejables porque evitan anomalías de crecimiento que pueden comprometer al período de rotación, la forma de los árboles (calidad) y su volumen (cantidad).

La fertilización preventiva es conveniente efectuarla en suelos de origen granítico y en rojos arcillosos de anterior uso agropecuario y erosionados como también en los suelos arenosos continentales. Tal medida preventiva es recomendable de aplicar hasta el inicio del segundo período vegetativo, ya que los síntomas de deficiencia generalmente aparecerán desde los 2 años de establecida la plantación.

Al respecto, es necesario indicar que, si bien la fertilización única con boro evita anomalías en el desarrollo de tejidos, ella no implica un incremento del crecimiento (Ballard 1978). Según el autor citado, para lograr un incremento adicional en el crecimiento debe recurrirse a la fertilización con otros elementos, principalmente de fósforo y nitrógeno, y a la eliminación de malezas. Por otra parte, explica que una fertilización de nitrógeno sin considerar la adición de boro, agravaría el problema en plantaciones deficientes.

Sin embargo, la solución más estable a largo plazo para corregir la deficiencia de boro, como ha quedado demostrado en los capítulos anteriores, es aquella que va dirigida a mantener una adecuada fertilidad del suelo, especialmente del suelo superficial.

*Fertilizantes y dosis.* Los fertilizantes más usados para corregir la deficiencia de boro

son Boronatrocalcita (Ulexita, con un contenido del elemento boro de alrededor de 14°/o), Bórax (Tetraborato de Sodio, con aprox. 11°/o de boro) y Acido Bórico (con alrededor de 17°/o de boro). Existen, sin embargo, numerosas otras formas que pueden ser utilizadas como fertilizantes (Mead 1977).

La dosis empleada para fertilizar varía en el rango de 0,8 - 6,0 g de boro por planta (árbol) (Zoettl 1973; Ballard 1978; Adams 1979; Toro 1982). Al respecto puede mencionarse, que se ha obtenido una buena respuesta de *Pinus radiata* a una fertilización con Bórax en dosis de 2,8 g de B/planta en suelos rojos arcillosos (Tollenaar 1969) y con Boronatrocalcita en dosis de 2,1 g de B/planta en suelos graníticos, con alto contenido de arcillas (Gerding *et al.* 1982). Dosis de 1 - 2 g de B/planta son adecuadas para suelos de deficiencia moderada y grave respectivamente, por un período de a lo menos 3 años (González *et al.* 1983).

En relación a qué fertilizantes emplear y en cuál dosis, debe tenerse en cuenta el tipo de suelo, la época de aplicación y el nivel de deficiencia del elemento.

*Tipo de suelo.* El tipo de suelo influye sobre la elección del fertilizante y la dosis de aplicar, principalmente por su capacidad de retención contra la lixiviación o por su tendencia a la fijación del elemento. Así, suelos muy arenosos de bajo contenido de coloides minerales y orgánicos ofrecen escasa retención de sales solubles contra la lixiviación. Para ellos se recomienda fertilizantes de menor solubilidad como la Boronatrocalcita la cual permanecería por mayor tiempo en el suelo (Adams 1979). Sin embargo, González *et al.* (1983) informaron que el resultado obtenido en arenales fue similar para Bórax y Boronatrocalcita. El efecto de la fertilización observada por ellos en arenas de bajo contenido de arena fina y limo,

como también pobres en materia orgánica, fue prácticamente por sólo un año. Esto significa que para tales suelos el fertilizante debe ser aplicado entremezclado con suelo fino, o algún tipo de materia orgánica descompuesta rica en coloides, que permita su retención por un mayor tiempo. De otra forma el fertilizante se lixiviará rápidamente desde el suelo con el agua de percolación, fuera del alcance de las raíces.

Para suelos arcillosos, con una mayor capacidad de retención, pueden utilizarse fertilizantes más solubles, como el Bórax o el Acido Bórico. Aún así, los resultados obtenidos por González *et al.* (1983) demuestran una respuesta favorable tanto para Bórax como para Boronatrocalcita en suelos franco arcillosos a arcillosos.

En cuanto a la dosis más adecuada para cada tipo de suelo, ello depende en parte del propósito de la fertilización. En suelos arenosos, por el peligro de lixiviación a raíz de su baja capacidad de retención de agua y sales solubles, no es conveniente aplicar más allá de lo estrictamente necesario como para satisfacer la demanda de las plantas por un par de años. Una dosis alta de boro soluble puede ser tóxica, especialmente si el fertilizante que lo contiene es aplicado muy cerca de la planta o muy concentrado, agravándose tal peligro con una baja caída pluviométrica. Según Marzo y Marcos (1969), con una concentración sobre 100 ppm en el follaje se inician efectos negativos como ser un menor desarrollo de la planta y una menor absorción de los demás elementos nutritivos. Al respecto debe considerarse que la solubilidad de las sales de boro y el peligro de toxicidad aumentan en suelos ácidos (Scheffer, Schachteschabel 1979). En suelos arenosos, por lo tanto, es preferible fertilizar en forma más frecuente con dosis controladas. En suelos arcillosos en cambio es posible aplicar una dosis más alta con el fin de mantener una reserva

que sirva a la planta durante un período suficientemente prolongado. En ellos, sin embargo, existe un cierto peligro de fijación del elemento, hecho que determinará el método de aplicación más adecuado.

*Método de aplicación.* En cuanto al método de aplicación del fertilizante, se conocen diferentes vías de aplicación al suelo o al follaje. La aplicación al suelo es localizada en hoyos cercanos a la raíz o bien al voleo, alrededor de cada planta. Al follaje se aplica asperjando una solución acuosa de una sal soluble de boro en la parte alta de la copa.

La fertilización al suelo en hoyos cercanos a las raíces de las plantas ha dado siempre buen resultado en todos los ensayos instalados (Tollenaar 1969; Gerding *et al.* 1982; González *et al.* 1983). En tal caso, debe aplicarse en el perímetro de las raíces, a más de 15 cm del vástago de la planta. En árboles es conveniente aplicarlo dentro de la proyección de la copa desde 1/3 de ella hacia el perímetro. También es recomendable efectuar la aplicación en los costados, evitando la aplicación ladera arriba o ladera abajo, por los peligros de concentración o inaccesibilidad, respectivamente.

La aplicación al voleo en cambio sólo ha sido efectiva en algunos ensayos (Tollenaar 1969; Adams 1979; Gerding *et al.* 1982. González *et al.* 1983), ya que las características de solubilidad del fertilizante, la competencia de malezas y la mayor susceptibilidad a ser erosionado, lixiviado o fijado a los coloides del suelo pueden disminuir su accesibilidad a las raíces del pino. Muchos de estos factores pueden ser evitados al incorporar al fertilizante mezclándolo con el suelo superficial mediante labranza, distribuido previamente al voleo y en la proyección de copa de las plantas. En ese caso pueden lograrse buenos resultados como

ha sido determinado por González *et al.* (1983). El efecto del labrado del suelo superior así obtenido favorece además la infiltración de agua, lo que explica los buenos resultados en suelos erosionados y/o compactados.

En suelos arenosos el peligro de lixiviación del fertilizante es alto, independientemente de la forma de aplicación. De tal manera que, para plantas en sus primeros años, es preferible localizar el fertilizante en el perímetro de la raíz y posteriormente aplicarlo al voleo en la proyección de la copa.

Para la mayoría de los suelos de textura fina la aplicación de fertilizantes boratados en hoyo es la solución más segura por su mejor efecto a largo plazo al evitarse o disminuirse las pérdidas de lixiviación o fijación. Esto ha sido comprobado con plantas de pino durante su período más crítico, entre los 2 - 4 años de edad y sobre suelos graníticos, eji que este método tuvo mayor efectividad en el tiempo que la aplicación al voleo (Gerding *et al.* 1982 b).

La fertilización foliar sólo ha permitido lograr un efecto en la disminución o eliminación de la deficiencia (Tollenaar 1969). Esto puede explicarse por la reducida movilidad del elemento en la planta. Una aplicación al follaje puede tener un efecto rápido, incluso dentro de 20 días (González, Konow 1981), pero debe repetirse periódicamente para mantener a la planta abastecida del elemento. Por vía foliar, la incorporación de boro al tejido vegetal sólo es de utilidad para el tejido ya formado, no tanto así para aquellos que deban formarse posteriormente. Otra limitante de este método es que no elimina la carencia en el suelo.

*Epoca de aplicación.* El boro aplicado por fertilización es rápidamente absorbido por las plantas, incluso dentro los primeros 2 meses. Esto es válido para cualquiera de

los fertilizantes nombrados (Tollenaar 1969; Adams 1979; González, Konow 1981; Gerding *et al.* 1981). Aún así, la época de aplicación es importante considerarla en relación al tipo de suelo y las condiciones climáticas del sitio.

En suelos arenosos, de poca capacidad de retención, es conveniente aplicar el fertilizante en primavera, al inicio del período vegetativo, cuando las plantas tienen la mayor demanda por elementos nutritivos y cuando la cantidad de precipitaciones está en declinación, de tal manera, que el peligro de lixiviación de las sales de boro no sea tan alta. En suelos arcillosos, en cambio, puede fertilizarse en invierno.

En el Norte de Chile Central, donde las condiciones de radiación y de temperatura son favorables prácticamente todo el año, debería considerarse la fertilización al inicio o durante el período de precipitaciones invernales que, probablemente coincide con el período de crecimiento del pino. Ensayos efectuados así lo indican (González, Konow 1981).

La época de fertilización es importante para lograr una rápida y adecuada efectividad del fertilizante. Una fertilización tardía puede producir un incremento en el contenido de boro foliar hasta alcanzar niveles normales. Sin embargo, en ese caso, los árboles no podrán superar eventuales daños fisiológicos que ya se hayan declarado al inicio del período de crecimiento (muerte apical, atrofia de tejidos). En esos casos un aumento de la dosis no sería más efectiva e incluso, si se aplica en el período seco, sin precipitaciones, el fertilizante puede transformarse en competidor con la planta por el agua del suelo, debido a su carácter higroscópico, o bien, pueden acumularse niveles de concentración tóxica para la planta. Por ello, es preferible en tal situación recurrir a la fertilización foliar, para superar temporalmente el problema.

## CONCLUSIONES

1) El origen de la deficiencia de boro encuentra su causa primaria en el material de origen del suelo. Los suelos más propensos a presentarla son los derivados de materiales ígneos, tanto intrusivos (graníticos) como extrusivos (arenas, cenizas y otros materiales volcánicos). En ellos la aparición de la deficiencia depende principalmente de la fertilidad actual del suelo, destacando como factores de esta la arraiabilidad, la capacidad de agua aprovechable y las reservas y disponibilidad del elemento boro.

2) Las plantaciones de *Pinus radiata* son establecidas principalmente en suelos que han sufrido algún deterioro de su fertilidad a causa del uso anterior. Esto puede ser por erosión (pérdida de materia orgánica), compactación o quema de residuos orgánicos, factores que causan o agravan la deficiencia.

3) El clima también influye la gravedad de la deficiencia a través de la disponibilidad de agua en el suelo, ya sea por la cantidad de precipitaciones o por su distribución. Períodos secos prolongados coincidentes con el período vegetativo son desfavorables.

4) Los métodos de establecimiento de la plantación y su posterior manejo también pueden ser causa de un agravamiento de la deficiencia. Así pueden nombrarse por ejemplo una mala calidad de plantas, una plantación mal ejecutada, la exportación masiva de biomasa del sitio, la quema de desechos orgánicos en suelos pobres en materia orgánica y la inadecuada selección o preparación del sitio de establecimiento.

5) La detección de la deficiencia de boro en plantaciones se facilita por causar ésta síntomas característicos en las plantas. Sin embargo, en la generalidad de los casos, los síntomas visuales representan condiciones de deficiencia moderada a

grave. Es decir, su presencia está indicando un daño a las plantas, ya sea a través de un retardamiento significativo en su desarrollo o la malformación del fuste. Por tal motivo, en prospecciones nutritivas debe recurrirse al análisis foliar para deficiencias leves o moderadas y así permitir medidas de prevención.

6) Para corregir y prevenir la deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* existen métodos que ya han comprobado su eficacia y que permiten superarla. La aplicación preventiva de fertilizantes de boro debe cubrir todos aquellos sitios con

suelos de alta probabilidad de presentar un abastecimiento insuficiente del elemento antes del segundo período vegetativo, para evitar anomalías de crecimiento. El método de aplicación debe ser seleccionado de acuerdo al tipo de suelo.

7) Existe una alta relación entre la disponibilidad de boro y la fertilidad del suelo mineral-orgánico superficial. Esta relación explica que a largo plazo el abastecimiento de boro para las plantas está íntimamente ligada al uso del suelo, debiendo su manejo propender a mantener o mejorar tal fertilidad.

#### 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.
- BALLARD, R. 1978. Use of fertilizers at establishment of exotic plantations in New Zealand, N. Z. Journal of For. Sci. 8 (1): 70 - 104.
- BALLARD, R.; WILL, G. M. 1981. Removal of logging waste, thinning debris and litter from a *Pinus radiata* pumice soil site. N. Z. Journal of For. Sci. 11(2): 152 - 163..
- BINGHAM, F.; PAGE, A.; COLEMAN, N.; FLACH, K. 1971. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. Soil Sci. Soc. Amerc. Proc, 35: 546 - 50.
- COHEN, M. S.; LEPPER, R. 1977. Effect of boron on cell elongation and division in squash roots. Plant Physiol. 59: 884 - 87.
- DELMASTRO, R.; DIAZ-VAZ, J. E.; SCHLATTER, J. E. 1981. Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias de *Pinus radiata* (D. Don). Informe de Convenio N° 43. Serie Técnica, Fac. de Ciencias Forestales, U.A.Ch. Valdivia. 187 p.
- FUENZALIDA, H. P. 1965. Clima. In: Geografía Económica de Chile. Texto refundido: 99-152, Corpor. de Fomento de la Producción, Santiago.
- GERDING, V. *et al.* 1982. Respuesta de *Pinus radiata* D. Don a fertilización con boro en suelos graníticos, provincia de Malleco. Informe de Convenio N° 52. Serie Técnica, Facultad de Cs. Forestales, U. A. Ch. Valdivia. 90 p.
- GERDING, V. *et. al.* 1982 b. Respuesta de pino insigne a fertilización con boro. Chile Forestal N° 84, Santiago.
- GONZALEZ, C, KONOW, V. 1981. Ensayos de corrección de carencias de Cobre y Boro en plantaciones de Pino (*Pinus radiata* D. Don) *in*: Resúmenes del Tercer Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Santiago.
- GONZALEZ, C. *et al.* 1983. Estudio de fertilización en plantaciones de *Pinus radiata*. Primeros resultados. Documento de Trabajo N° 51 FO/DO/CHI:76/003, Santiago de Chile. 159 p.
- GONZALEZ, P. 1982. Respuesta de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don a la fertilización con boro en la provincia de Malleco, IX Región. Tesis -Ing. Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia 87 p.
- IREN, 1965. Evaluación de la erosión. Cordillera de la Costa entre Valparaíso y Cautín. Informe N° 3, Santiago. 17 p.
- KUNZ, M. 1982. Determinación del nivel nutritivo de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don de diferente edad. Tesis Ing. Forestal, U. A. Ch. Valdivia. 123 p.
- LAMBERT, M. J.; TURNER, J. 1977. Diebeack in high site quality *Pinus radiata* stands -the role os sulphur and boron deficiencies. N. Z. Journal of For. Sci. 7 (3): 333-48.

- LAMBERT, M. J. 1980. For. Comm. S. S. W. Internal Report (14 pp). cit. Hill J., Lambert, M. J. 1981. Physiology and management of micronutrient in forest trees in Australiasia. In: Proceedings Austral. For. Nutrition Workshop. Productivity in Perpetuity: 93 - 103, Australian Forestry Council.
- MARZO MUÑOZ COBO, M. T.; MARCOS DE LANUZA, J. 1970. La nutrición de plantitas de *Pinus radiata* es estados de toxicidad de Boro. An. Edafol. Agrobiol. 29(5/6): 391 - 9.
- MEAD, D. J. 1977. Fertilizer sources for use in forestry. In: Use for fertilizers in New Sealand Forestry. FRI Symposium N° 19 N. Z. For. Serv. For Res. Institute p. 59 - 70.
- MENGEL, D.; KIRKBY, E. 1978. Principles of Plant Nutrition International Potash Institute, Berne. Switzerland 593 p.
- MERINO, R.; 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 - 92.
- MOLL, W. 1973. Estado nutritivo de plantaciones de *Pinus radiata* entre Cautín y Llanquique. Archivos del Instituto de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, U. A. Ch. (inédito).
- RANKAMA, K.; SAHAMA, TH. 1954. Geoquímica, Ed. Aguilar, Madrid (862 pp).
- SCHEFFER, R., SCHACHTSCHABEL, P. 1970. Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. 448 p.
- SCHLATTER, J. E. 1977. La relación entre suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile Central. Análisis de la situación actual y planteamientos para su futuro manejo. Bosque 2 (1): 12-31.
- SCHLATTER, J. E.; GREZ, R. 1978. Diagnóstico de los factores causantes del crecimiento restringido en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don provincias de Malleco y Bío Bío. In: II Simposio Nac. de la Ciencia del suelo, Tomo I (36 - 63), Santiago de Chile.
- SQUIRE, R. O.; FLINN, D. W. 1981. Site disturbance and nutrient economy of plantations with special reference to radiata pine on sands. In: Proceedings of the Australian Forest Nutrition Workshop on Productivity in Perpetuity (291 - 302), Canberra, Australia.
- STONE, E. L., WILL, G. M. 1965. Boron deficiency in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. For. Sci. 11(4): 425-33.
- TOLLENAAR, H. 1969. Deficiencia de boro en plantaciones de pino, en la zona central de Chile, Agricultura Técnica (Chile) 29(2): 85 - 88.
- TORO, J. 1982. Evaluación y corrección de sitios limitados para el establecimiento de pino insigne. Experiencias chilenas y resultados a la fecha. In: Actas del Cónclave sobre Fertilización de Plantaciones de Pino Insigne. Forestal CELCO Ltda., Constitución. 22 p.
- ZOETTL, H. 1973. Suelos Forestales de la Región del Bío Bío. Fortalecimiento del Programa For. Nac. CHILE FO:SF/CHI-26. Informe Técnico N° 4, FAO (30 pp).

(Recibido, 2 marzo 1984)

---

#### Los autores

- JUAN S. SCHLATTER. Profesor, Dr. en Ciencias Forestales. Instituto de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia - Chile.
- VICTOR GERDING S. Ingeniero Forestal. Instituto de Silvicultura. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia - Chile.