



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

Cobre, cinc y boro en la biomasa aérea de *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden bajo diferentes tratamientos de fertilización en la Décima Región

Profesor Guía: Sr. Víctor Gerding S.

Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de **Ingeniero Forestal**.

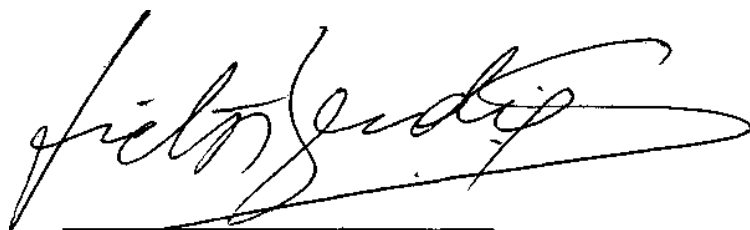
MARIANELA DE LOURDES ROSAS URIBE

Valdivia
2005

CALIFICACION DEL COMITE DE TITULACION.

| | | Nota |
|---------------|------------------------------|------|
| Patrocinante: | Sr. Víctor Gerding Salas Sr. | 6.8 |
| Informante: | Renato Grez Zanelli Sr. Juan | 6.5 |
| Informante: | Schlatter Volmann | 5.3 |

El patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Víctor Gerding S.

Agradecimientos

Este escrito marca el término de una etapa y el inicio de una nueva que estoy convencida estará llena de sueños y sorpresas. Han sido dos años de infinitas experiencias y aprendizaje...

Gracias a mi profesor patrocinante, Sr. Víctor Gerding por su colaboración desde el inicio al final de este largo proceso. Gracias por la dedicación, responsabilidad, puntualidad y nivel de exigencia que mostró durante el desarrollo de este documento...los dos años...esos van por mi cuenta.

Gracias a los profesores informantes, Sr, Renato Grez y Sr. Juan Schlatter por su participación. Estoy consciente que conté con el apoyo de los mejores docentes en el área que seleccioné.

Gracias profesora Angélica Aquilar por prestarme un rinconcito de su laboratorio para realizar mi Trabajo de Titulación. No se imagina cuánto más cómodo y fácil se hicieron muchas de mis tareas. Gracias.

A mi FAMILIA por sacarme de aprietos, por el apoyo y la paciencia. A mis amigos, TODOS, por sus diferentes e infinitas maneras de colaborar: un abrazo, un libro, una palabra de aliento, un momento de relajación...gracias...

*Justifica tus limitaciones
y ciertamente las tendrás*

Ilusiones - Richard Bach

A mi abuelo...

ÍNDICE DE MATERIAS

| | Página |
|---|--------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 Caracterización de la especie <i>Eucalyptus nitens</i> (Dean et Maiden) Maiden en Chile | 3 |
| 2.2 Características de los suelos rojo arcillosos en el sur de Chile | 4 |
| 2.3 Concepto y medición de biomasa | 4 |
| 2.4 Elementos nutritivos | 6 |
| 2.4.1 Micronutrientes en la planta | 6 |
| 2.4.2 Micronutrientes en el suelo | 7 |
| 2.5 Cobre | 8 |
| 2.5.1 Cobre en las plantas | 8 |
| 2.5.2 Cobre en el suelo | 10 |
| 2.5.3 Fertilización con cobre | 10 |
| 2.6 Cinc | 11 |
| 2.6.1 Cinc en las plantas | 11 |
| 2.6.2 Cinc en el suelo | 11 |
| 2.6.3 Fertilización con cinc | 12 |
| 2.7 Boro | 12 |
| 2.7.1 Boro en las plantas | 13 |
| 2.7.2 Boro en el suelo | 14 |
| 2.7.3 Fertilización con boro | 16 |
| 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN | 18 |
| 3.1 Antecedentes generales del ensayo | 18 |
| 3.1.1 Superficie y ubicación geográfica | 18 |
| 3.1.2 Clima | 18 |
| 3.1.3 Características, topografía y uso anterior del suelo | 18 |
| 3.1.4 Preparación del sitio y manejo de la plantación | 19 |
| 3.1.5 Biomasa aérea | 20 |
| 3.2 Evaluación del ensayo | 21 |
| 3.2.1 Metodología de terreno | 21 |
| 3.2.2 Metodología de laboratorio | 22 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.3 | Análisis de datos | 23 |
| 3.2.4 | Cálculos | 24 |
| 4. | RESULTADOS | 26 |
| 4.1 | Caracterización de los contenidos de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea del rodal | 26 |
| 4.1.1 | Comportamiento individual promedio de cada elemento | 27 |
| 4.1.2 | Comportamiento entre elementos | 29 |
| 4.1.3 | Variabilidad de los contenidos | 31 |
| 4.1.4 | Influencia de los tratamientos pre y post plantación en los contenidos de cobre, cinc y boro | 32 |
| 4.2 | Caracterización de las cantidades de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea del rodal | 34 |
| 5. | DISCUSIÓN | 37 |
| 5.1 | Disponibilidad de cobre, cinc y boro en el suelo | 37 |
| 5.2 | Contenidos, movilidad y variabilidad de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea | 38 |
| 5.2.1 | Contenidos | 38 |
| 5.2.2 | Movilidad | 38 |
| 5.2.3 | Variabilidad | 39 |
| 5.3 | Cantidades de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea | 39 |
| 6. | CONCLUSIONES | 41 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA | 42 |
| | ANEXOS | 47 |
| 1 | <i>Abstract and keywords</i> | |
| 2 | Ubicación geográfica del ensayo. Análisis de suelo al inicio de la plantación - año 1996 (Aparicio, 2001). | |
| 3 | Información complementaria al diseño de investigación. División de la copa y tronco. | |
| 4 | Resultados parciales. Contenidos en copa y tronco. | |
| 5 | Resultados parciales. Contenidos máximos y mínimos. | |
| 6 | Resultados parciales. Cantidades en copa y tronco. | |
| 7 | Resultados parciales. Análisis Factorial 2 x 3 | |

RESUMEN EJECUTIVO

Con el objetivo de cuantificar y caracterizar los contenidos y cantidades de cobre, cinc y boro en los componentes de la biomasa aérea y, determinar los efectos de diferentes tratamientos de fertilización en el contenido y acumulación de estos tres microelementos se analizó, al quinto año de crecimiento, una plantación de *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden ubicada en un ensayo establecido en el año 1996 sobre suelos volcánicos de la Provincia de Llanquihue, X Región de Chile.

La metodología se llevó a cabo con material extraído en un rodal sin fertilizar y dos áreas experimentales fertilizadas con fósforo de baja solubilidad más fósforo soluble. En estos rodales la fertilización se realizó al establecimiento, al año de edad y a los tres años de edad. En cada rodal se determinaron cinco estratos de crecimiento a partir del DMC \pm 1 y 2 desvíos estándar. De cada estrato se talaron dos árboles, conformando una muestra de diez árboles por rodal. Las copas fueron divididas en tercios: inferior, medio y superior, y el tronco en alturas: 0, 2, 4, 6, 8, \geq 10 m. Se determinó peso húmedo de los componentes de la biomasa (madera, corteza, ramas vivas, ramas muertas y hojas) y se extrajeron muestras para determinar en laboratorio peso seco y composición química. El material para los análisis químicos de cada componente de la biomasa, se obtuvo, para cada tercio, de una mezcla de los árboles que formaron cada estrato.

A los cinco años de edad, las plantaciones presentaban densidades entre 1.450 y 1.515 árb/ha. En los tratamientos sin fertilización postplantación, el DMC varió entre 13,9 y 14,6 cm y la altura de los árboles dominantes fluctuó entre 15 y 17 m. Los tratamientos con fertilización postplantación presentaron un DMC de 15,1 a 15,8 cm y una altura de 16 a 18,5 m. Conjuntamente, la biomasa aérea total a los 5 años de edad fluctuó entre 87 y 123 t/ha.

Los contenidos de cobre, cinc y boro en los tejidos variaron en forma independiente de la clase diamétrica de los árboles. Cobre y cinc se comportaron como elementos móviles, ya que sus contenidos disminuyeron en los tejidos más antiguos de la copa. Boro, en cambio, mostró su inmovilidad característica. El componente que presentó los menores contenidos de los tres micronutrientes fue la madera mientras que los mayores contenidos se ubicaron en las hojas. Los tratamientos de fertilización produjeron pocos efectos estadísticamente significativos en la acumulación de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea, aunque sí se observó una tendencia del incremento en la cantidad.

Las mayores cantidades de cobre, cinc y boro se presentaron en las hojas y la madera. Cobre se encontró en cantidades que fluctúan entre 189 y 350 g/ha donde un 52% aproximadamente está ubicado en la copa y un 48% en el tronco. Cinc se presentó entre 461 y 772 g/ha (64% en la copa y 36% en el tronco) y boro entre 676 y 1.329 g/ha (53% y 47% respectivamente).

Palabras claves: cobre; cinc; boro; *Eucalyptus nitens*; biomasa aérea.

1. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus nitens (Dean et Maiden) Maiden es la especie del género *Eucalyptus* cuyas plantaciones han experimentado una de las mayores expansiones en el sur de Chile, específicamente en la Décima Región, debido a sus altas tasas de crecimiento, corto período de rotación y alta densidad de la madera; características que resultan atractivas en la industria de pulpa y madera de alto valor. En la Décima Región, las plantaciones de *Eucalyptus* sp. alcanzan una extensión de 60.822 ha (INFOR, 2003) y se encuentran establecidas, en su mayoría, sobre suelos rojo arcillosos entre las provincias de Valdivia y Llanquihue.

Las plantaciones forestales en general, presentan una demanda nutricional variable de acuerdo a su estado de desarrollo. Antes del cierre del dosel, el crecimiento de los árboles depende en gran medida de los nutrientes que aporta el suelo. Después del cierre, ocurre un reciclado y redistribución de nutrientes cuya demanda irá disminuyendo con la edad de los árboles. Es necesario entonces, conocer la demanda de nutrientes en cada uno de los estados de desarrollo para poder entregar una adecuada prescripción de fertilización, sobretodo en la primera etapa de crecimiento ya que al no contar aún con el reciclado se pueden producir déficit.

Para establecer los requerimientos nutricionales de *Eucalyptus* sp. y de cualquier especie arbórea en general, es necesario estimar su potencial productivo (acumulación de biomasa), lo cual dependerá de las características del sitio donde se establece la plantación, es decir, de las características del clima y del suelo.

La aplicación de nutrientes, vía fertilización durante los tres primeros años, ha tenido como resultado respuestas significativas en *Eucalyptus* sp. tanto en altura, como también en área basal, volumen del tronco, área foliar y biomasa aérea. Si adicionalmente se realiza un adecuado control de malezas y se hace una correcta preparación física del suelo, la respuesta es aún mayor ya que, al igual que cualquier cultivo, *Eucalyptus* sp. es susceptible a la competencia por luz, agua y nutrientes. En ausencia de déficit nutricionales como de competencia por malezas, se asegura un cierre temprano de dosel y una captura efectiva de sitio.

Con el fin de complementar los estudios realizados con anterioridad sobre el manejo nutritivo de plantaciones de *Eucalyptus* sp., el Instituto de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile está desarrollando, desde 1996, un ensayo de fertilización en *Eucalyptus nitens* sobre suelos volcánicos de la serie Crucero en la Décima Región¹. Este proyecto de investigación tiene como propósito evaluar durante el período de acumulación nutritiva, los efectos de

¹ Fondo Nacional de Desarrollo de las Ciencias y la Tecnología (FONDECYT), Proyecto N° 1010174 de investigación sobre "Manejo Nutritivo de Plantaciones de *Eucalyptus nitens* hasta la etapa de culminación cuantitativa del Incremento Corriente Anual, en suelo rojo arcilloso de la Décima Región". Proyecto UACH - DID - 5 - 200024 "Productividad y biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento en un suelo arcilloso con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable".

diferentes esquemas de fertilización diseñados según las relaciones de la oferta del suelo y la demanda de la plantación.

El trabajo de titulación que se propone a continuación, forma parte de esta investigación y tiene como objetivo general determinar el efecto de distintos esquemas de fertilización en los contenidos y cantidades de cobre, cinc y boro presentes en la biomasa aérea de plantaciones de *E. nitens* de 5 años de edad establecidas sobre suelo rojo arcilloso en un predio de la Décima Región.

Los objetivos específicos son:

- Determinar los contenidos de cobre, cinc y boro en los componentes de la biomasa aérea de *E. nitens*,
- Evaluar los efectos de los tratamientos de fertilización en el contenido y acumulación de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea de esta especie y,
- Calcular las cantidades de cobre, cinc y boro en los componentes de la biomasa aérea de *E. nitens*.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Caracterización de la especie *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden en Chile

Eucalyptus nitens corresponde a una especie exótica perteneciente al subgénero *Symphyomyrtus* originaria del Sudeste de Australia donde se conoce como *shining gum*. Su rango nativo de distribución está en las regiones montañosas de Victoria Central y al Este de Nueva Gales del Sur en donde se establece en pequeñas poblaciones aisladas entre las latitudes 30° y 38° sur, y en un rango altitudinal de 600 a 1.600 m s.n.m. (INFOR-CORFO, 2004).

Fue introducida en nuestro país el año 1967 a través del Programa de Introducción de Especies del Instituto Forestal, resultando ser una de las especies más exitosas. En el marco del proyecto FONDEF FI - 15 "Mejora Genética del Eucalipto" (INFOR-CORFO, 2003) y de la iniciativa de la Unidad de Inventarios de INFOR (INFOR-CORFO, 2004) se identificaron y cuantificaron en nuestro país, las zonas potencialmente aptas para la introducción de *E. nitens* de acuerdo con los principales requerimientos de la especie, así como las características edafoclimáticas de la zona de estudio. Como resultado, esta zona está comprendida entre la Octava y Décima Regiones (cuadro 1).

Cuadro 1. Requerimientos ecológicos de *Eucalyptus nitens* en Chile.

| Característica | Requerimiento |
|----------------|---|
| Altitud | Hasta 1.000 - 1.300 m s.n.m. en predios cerca de Curacautín. |
| Temperatura | Temperaturas mínimas absolutas inferiores a 10,8 °C bajo cero producen daños severos. Resiste hasta un mínimo de 15 °C bajo cero, pero con daños intensos a la planta. Las temperaturas deben oscilar entre 10 y 15,5 °C. Soporta entre 50 y 150 heladas anuales. |
| Precipitación | Climas húmedos. Áreas con precipitaciones de 800 a 2.000 mm anuales, siendo el máximo desarrollo con precipitaciones superiores a 1.000 mm anuales. Humedad relativa igual o superior a 75%. En verano precipitaciones no inferiores a los 40 mm por mes (excepto trumaos). Soporta períodos secos prolongados, con un máximo de cinco meses secos. |
| Suelo | De texturas medias a pesadas. Drenaje bueno, moderado e incluso intermedio. Reacción del suelo ácida a ácida neutra (5-6). Medianamente profundos a profundos (0,5-1,5 m) y moderadamente fértiles con una adecuada cantidad de materia orgánica en sus estratos superiores. |
| Competencia | Muy susceptible a la competencia, especialmente de gramíneas. Por lo tanto requiere de un adecuado tratamiento en el suelo para un buen desarrollo inicial de sus raíces. |

Fuente: McKimm y Flinn (1979); Prado y Barros (1989); Muñoz (2002); INFOR-CORFO (2003); INFOR-CORFO (2004).

En general, *Eucalyptus* sp. responde bien a diversos tratamientos silviculturales, siendo particularmente sensibles en la fase de establecimiento, oportunidad en que se realizan labores de preparación del suelo, control de malezas y fertilización. Estos factores, junto a la calidad de las plantas, son los que más inciden en el establecimiento y la productividad (Cancino *et al.*, 1999). Las plantaciones de *E. nitens* ocupan terrenos en que se conjugan la alta precipitación y las bajas temperaturas. En estas condiciones, el establecimiento de plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento, resistentes al frío, constituye una importante alternativa productiva, lo que se refleja en el notable incremento de las tasas de forestación con *E. nitens* en los últimos 10 años.

2.2 Características de los suelos rojo arcillosos en el sur de Chile

Los suelos rojo arcillosos están formados sobre cenizas volcánicas antiguas y, en la zona sur de nuestro país, es frecuente encontrarlos sobre morrenas glaciales, areniscas y rocas metamórficas. Se caracterizan por presentar colores pardo rojizos a lo largo de todo el perfil, su textura varía de franco arcillosa a arcillosa y es más fina en profundidad, disminuyendo el volumen de poros que varía frecuentemente entre 48 y 70% (Besoain, 1985).

Estos suelos están conformados por diferentes familias que se diferencian principalmente por el substrato sobre el cual descansan. En el sur de nuestro país, la Familia Fresia en particular, está constituida por las Series Fresia, Cudico y Crucero, ubicadas en el sector occidental de la Depresión Intermedia y de transición con la Cordillera de la Costa. Ocupa una posición más alta que los suelos que la limitan hacia el oriente y con topografía de lomajes de pendientes complejas (Tosso, 1985). De acuerdo con el autor citado, esta familia se caracteriza por presentar suelos muy profundos y desarrollados a partir de cenizas volcánicas antiguas que descansan sobre un conglomerado volcánico muy meteorizado. El régimen actual de humedad es údico y el de temperatura méxico.

2.3 Concepto y medición de biomasa

La biomasa o sustancia vegetal es producida por el fenómeno biológico del crecimiento. El crecimiento es la respuesta de una especie al sitio y sus factores: clima y suelo, determinan el nivel de producción vegetal en el árbol (cuadro 2). Una mayor productividad de un sitio generará una mayor producción de biomasa (Muñoz, 2002) y, a una mayor producción de biomasa se requieren más nutrientes y mayor será su acumulación en los componentes, cuando el suelo presenta un suministro suficiente (Bonomelli y Suarez, 1999b). En el caso de los árboles no fertilizados el potencial de producción de biomasa se reduce cuando es insuficiente el suministro de nutrientes en el suelo, y por lo tanto la acumulación de nutrientes es menor.

La biomasa total de rodales de una misma especie, bajo similares condiciones de manejo, es función directa de la edad (Bonomelli y Suarez, 1999a). Asimismo, la

producción de materia seca dependerá de factores como: la densidad del rodal, la calidad del sitio (Baeza, 1998), las cortas intermedias (Bonomelli y Suarez, 1999a), la posición fisiográfica, la altitud y la variación genética (Satoo, 1982).

La proporción de cada componente respecto de la biomasa total también varía con la edad de desarrollo del árbol. Al principio, la proporción de hojas respecto de la biomasa total es alta, pero con la edad se hace cada vez menor mientras que la de la madera se hace cada vez mayor, presentando estos componentes distintos contenidos de nutrientes lo que da como resultado, la variación en el tiempo de los requerimientos internos por nutrientes y de esta forma, la variación de la demanda de nutrientes (Bonomelli y Suarez, 1999a y b).

Los autores citados señalan que las plantaciones forestales presentan una demanda nutricional variable de acuerdo a su estado de desarrollo. Antes del cierre del dosel, el crecimiento de los árboles depende en gran medida de los nutrientes que aporta el suelo. Después del cierre del dosel, ocurre un reciclado y una redistribución de nutrientes dentro de la planta y entre las plantas y el suelo, y por último la demanda de nutrientes va disminuyendo con la edad de los árboles.

Es necesario entonces, conocer la demanda de nutrientes en cada uno de los estados de desarrollo, sobretodo en la primera etapa de crecimiento ya que, al no contar aún con el reciclado se puede producir déficit. Para lograr criterios de recomendación de fertilizantes, se deben conocer la biomasa y el contenido de nutrientes para cada componente de los árboles de plantaciones comerciales.

Cuadro 2. Biomasa aérea (t/ha) según componente y total en tres especies arbóreas.

| Especie | Edad (años) | Hojas o acículas | Ramas | Ramillas | Ramas muertas | Madera | Corteza | Total | Fuente |
|---------------------------|-------------|------------------|-------|----------|---------------|--------|---------|--------|--------------------------------|
| <i>Eucalyptus nitens</i> | 4 | 15,2 | 11,9 | - | 4,0 | 51,4 | 7,8 | 90,4* | Aparicio (2001) |
| <i>Eucalyptus nitens</i> | 4 | 9,4 | 9,1 | - | 2,1 | 52,1 | 7,6 | 81,8 | Madgwick <i>et al.</i> (1981) |
| <i>Eucalyptus regnans</i> | 4 | 6,2 | 10,7 | - | 4,2 | 42,2 | 5,3 | 68,5* | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| <i>Eucalyptus regnans</i> | 7 | 10,5 | 17,1 | - | 12,8 | 142,7 | 15,0 | 198,0* | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| <i>Pinus radiata</i> | 14 | 22,1 | 7,2 | 13,8 | 2,4 | 114,5 | 11,8 | 174,4* | Rojas (1997) |
| <i>Pinus radiata</i> | 17 | 14,4 | 7,7 | 13,9 | 8,7 | 189,1 | 18,0 | 256,9* | Leonelli (1998) |

*El valor total contempla además la biomasa de frutos.

De acuerdo con Garcinuño (1995), la biomasa se puede estimar mediante métodos directos e indirectos. El método indirecto, consiste en una serie de mediciones de

volumen, densidad y otros indicadores de los componentes del árbol; el método directo, que corresponde al utilizado para la toma de muestras en este ensayo, consiste en procedimientos de cosecha o destructivos en los que los árboles son elegidos al azar y representan a distintas clases diamétricas del rodal.

2.4 Elementos nutritivos

Los nutrientes esenciales requeridos por las plantas superiores son de naturaleza exclusivamente inorgánica (Mengel y Kirkby, 1982). En la actualidad son conocidos más de cien elementos diferentes, de los cuales 16 han sido identificados como esenciales para el crecimiento sano y vigoroso de las plantas.

Basándose en el contenido del elemento en el material vegetal, Mengel y Kirkby (1982) y Katyal y Randhawa (1986) entre otros, los clasifican en macronutrientes: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), y micronutrientes: cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

2.4.1 Micronutrientes en la planta

Los micronutrientes llevan esta denominación ya que son elementos minerales que se encuentran en contenidos relativamente bajos en la planta y las cantidades que éstas necesitan son, a su vez, relativamente pequeñas lo que se explica por la función que éstos cumplen (cuadro 3). La mayoría de los microelementos son constituyentes de moléculas de enzimas, al contrario de macroelementos que pueden constituir tanto compuestos orgánicos, como proteínas y ácidos nucleicos (Marschner, 1995).

Los tejidos más activos, como las hojas, presentan generalmente un mayor contenido de nutrientes que tejidos de sostén, como la madera (Schlatter, 1986). Incluso, se presentan variaciones en el contenido de nutrientes dentro de un mismo componente como en el caso del follaje (Madgwick *et al.*, 1981; Muñoz, 2002; Aparicio, 2001). Estas variaciones están determinadas por factores como: la edad, el desarrollo del tejido, ubicación en el dosel, estado competitivo del árbol e incluso con las variaciones anuales de precipitación (Binkley, 1993; Correa, 1991). Con respecto a la ubicación en el dosel, Correa (1991) menciona que elementos nutritivos como nitrógeno, fósforo, magnesio, cobre y cinc se acumulan en las hojas de ramas altas, mientras que boro y aluminio lo hacen en las ramas bajas.

Cuadro 3. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en los componentes de la biomasa de dos especies arbóreas.

| Elem. | Especie | Edad (años) | Biomasa (t/ha) | Hojas o acículas | Ramas | Ramas muertas | Madera | Corteza | Fuente |
|-------|---------------------------|-------------|----------------|------------------|-------|---------------|--------|---------|--------------------------------|
| Cobre | <i>Eucalyptus regnans</i> | 4 | 68,5 | 39 | 40 | 12 | 65 | 22 | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| Cobre | <i>Eucalyptus regnans</i> | 7 | 198,0 | 55 | 54 | 31 | 184 | 38 | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| Cinc | <i>Eucalyptus regnans</i> | 4 | 68,5 | 63 | 154 | 59 | 469 | 32 | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| Cinc | <i>Eucalyptus regnans</i> | 7 | 198,0 | 106 | 179 | 156 | 1250 | 63 | Frederick <i>et al.</i> (1985) |
| Boro | <i>Pinus radiata</i> | 14 | 175,0 | 400 | 20 | 10 | 230 | 70 | Rojas (1997) |

Aunque los contenidos de micronutrientes encontrados en las plantas son pequeños, todos ellos deben estar presentes en cantidades adecuadas para que la planta tenga un crecimiento óptimo y un rendimiento máximo. La carencia de uno o cualquiera de ellos, obstaculizará la obtención de rendimientos normales, y una carencia grave puede originar la pérdida completa de la productividad de la plantación. De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2001) la sensibilidad de los cultivos a las deficiencias está ligada a los procesos nutricionales de absorción, transporte y asimilación. En el caso de boro en particular, su nivel de suficiencia está más vinculado con el régimen hídrico del suelo que con su disponibilidad, ya que es muy poco móvil en las plantas y se moviliza, en gran parte, con el flujo de transpiración vía xilema. La sensibilidad depende entonces, de la diferente capacidad de traslocación de boro que presentan los cultivos.

El contenido de un elemento nutritivo influye en la cantidad del elemento presente en un tejido determinado, la cual, a su vez, es influida por factores como la especie vegetal, edad, densidad de plantación, silvicultura, tipo de suelo y clima (Muñoz, 2002 y Garcinuño, 1995).

2.4.2 Micronutrientes en el suelo

Los microelementos disponibles para las plantas están contenidos en cantidades variables en los diferentes segmentos de la corteza terrestre. Además, se encuentran como sustancias químicas de distinta solubilidad y su distribución en el perfil del suelo es generalmente desuniforme (Schenkel *et al.*, 1985). Uno de los factores que determina el contenido de microelementos en el suelo es la naturaleza de la roca madre (Schenkel *et al.*, 1985). De acuerdo con Shoji *et al.* (1993), en Andisoles particularmente, se han reportado deficiencias de cobre, cinc y cobalto.

El factor más importante que determina la disponibilidad de los nutrientes en el suelo es el contenido de materia orgánica. Aguilera *et al.* (1992) describen el efecto en la disponibilidad de cobre y cinc en suelos fertilizados con diferentes sustratos carbonados. De acuerdo con estos autores, mayores contenidos de materia orgánica en el suelo, favorecen la movilización de estos micronutrientes fijados.

Los niveles de deficiencia, críticos y de toxicidad son conocidos (Rodríguez *et al.*, 2001). En general, los valores críticos y tóxicos son válidos para distintas condiciones de suelo y para diferentes cultivos. Existen algunos nutrientes cuya deficiencia en los suelos del país es improbable. Estos elementos nutritivos son: calcio (Schenkel *et al.*, 1985), magnesio, hierro, manganeso, cobre, molibdeno y cloro (Rodríguez *et al.*, 2001).

Las dosis de corrección de la disponibilidad en el suelo de los micronutrientes son menores que las de nitrógeno, fósforo y potasio, y los costos de las fuentes fertilizantes son también menores (Rodríguez *et al.*, 2001). Se debe señalar que dosis de corrección superiores a las señaladas puede, fácilmente, en el caso de los micronutrientes, producir problemas de fitotoxicidad, porque las cantidades de micronutrientes toleradas por los cultivos son pequeñas en relación a los macronutrientes requeridos (Schenkel y Baherle, 1982).

2.5 Cobre

2.5.1 Cobre en las plantas

El cobre no se transporta fácilmente en la planta, pero puede ser transferido desde las hojas viejas hacia las nuevas. Este movimiento es altamente dependiente del contenido del elemento en la planta, y en aquellos individuos que presentan deficiencias, el cobre es relativamente inmóvil.

Está asociado en forma directa con el crecimiento y forma de la planta. Sus carencias afectan procesos metabólicos relacionados con la fotosíntesis y fijación de nitrógeno, además de participar en los procesos de lignificación de los vasos del xilema (cuadro 4). Un método interesante para observar las deficiencias de cobre en la planta, es ver las variaciones en el grado de lignificación de las secciones del tronco durante los estadios de crecimiento (Marschner, 1995).

De acuerdo con INFOR-CORFO (2004) los contenidos adecuados de cobre en el follaje de individuos en contenedor debe mantenerse dentro del rango de 1,0 a 2,0 mg/kg. Shoji *et al.* (1993) indican niveles de contenidos entre 5 y 30 mg/kg en el tejido vegetal, y Honorato y Silva (1999) niveles de 0,2 a 20 mg/kg con un umbral crítico de 20 a 100 mg/kg.

Cuadro 4. Funciones y síntomas de carencia de cobre, cinc y boro en plantas superiores.

| Elemento | Funciones | Efectos de una insuficiencia |
|----------|--|--|
| Cobre | Un 70% del contenido de cobre se concentra en los cloroplastos, y la importancia de su función se puede ver en la asimilación. | Se produce un envejecimiento prematuro de la clorofila, por lo tanto, disminuyen los crecimientos y rendimientos. |
| | Existe un requerimiento específico de cobre en la fijación simbiótica del nitrógeno (nodulación). | Se producen síntomas de deficiencia de nitrógeno. |
| | El cobre tiene un marcado efecto en la formación y composición química de las paredes celulares. Este efecto en la lignificación es incluso más marcado en las células esclerenquimáticas del tejido del tronco. | Da lugar a la característica distorsión de las hojas nuevas, las que se doblan y tuercen. Además, el tronco se deforma y queda péndulo. En plantas que sufren de severas deficiencias de cobre, los vasos del xilema también se encuentran insuficientemente lignificados. |
| Cinc | Actúa como componente metálico de una serie de enzimas. Las enzimas más importantes sobre las que actúa este elemento son la anhidrasa carbónica (en los cloroplastos) y algunas deshidrogenasas. | Se restringe la síntesis de ácido ribonucleico, lo cual inhibe la síntesis de proteínas. Las plantas que sufren carencia de cinc son, por consiguiente, pobres en proteínas. |
| | Interviene en la producción de auxinas y ácido indol acético (AIA). Participa en la activación de enzimas de respiración. | Los brotes y yemas tienen un contenido bajo de auxinas, que causa raquitismo y obstaculiza el crecimiento. Como resultado las plantas no alcanzan su desarrollo completo y su crecimiento se prolonga demasiado. |
| Boro | Elemento esencial para el buen desarrollo y la diferenciación de los tejidos ya que forma polihidroxidos componentes de la pared celular (estructura fina) que mantienen su estabilidad. | Formación y desarrollo anormal de los tejidos meristemáticos de rápido crecimiento (pliegues y bordes doblados hacia abajo, secamiento y clorosis). Fallas en el proceso de diferenciación de tejidos. |
| | Regula la fitohormona del crecimiento denominada auxina. Está relacionado al alargamiento y la división celular. | No se pueden formar elementos como ribosomas y, por lo tanto, afecta la síntesis de proteínas. |
| | Está involucrado en la síntesis de uracilo (base nitrogenada), componente esencial del RNA. Además, participa en el metabolismo (síntesis) de ácidos nucleicos, carbohidratos y proteínas. | Provoca, a menudo, esterilidad y deformación de los órganos reproductivos. Además, su deficiencia puede causar daños en el tejido vascular lo cual restringe o inhibe el transporte del agua hacia el ápice. |
| | Aumenta la estabilidad de las células e interviene en la fase reproductiva. | Muerte de los ápices, crecimiento reducido de toda la planta y se inhibe la floración y fructificación |

Fuente: Schlatter y Gerding (1985b); Marschner (1995); Andrade *et al.* (1995); Lambert *et al.* (1997); Schalscha *et al.* (1968).

La absorción de cobre es independiente de los efectos de la competencia y está más directamente relacionada con los niveles de disponibilidad que existan en el suelo, aún así, la mayoría de los suelos contienen adecuados niveles de cobre como para suplir las demandas.

2.5.2 Cobre en el suelo

Mengel y Kirkby (1982) mencionan que el cobre se encuentra casi exclusivamente en su forma bivalente. La mayor fracción del contenido total está generalmente presente en las retículas cristalinas de minerales primarios y secundarios (Schalscha *et al.*, 1968; Katyal y Randhawa, 1986). Otra porción está presente en compuestos orgánicos como catión intercambiable en los coloides del suelo y es un constituyente de la solución de éste. La concentración de cobre en esta solución es generalmente muy baja ($1 \cdot 10^{-8}$ a $60 \cdot 10^{-8}$ M) y hasta un 98 % de ésta se encontraría formando complejos con la materia orgánica. Es escasamente móvil (Honorato y Silva, 1999). De hecho, el cobre es el micronutriente catión que más fuertemente se fija a la materia orgánica, y los complejos orgánicos de cobre juegan un rol muy importante en la disponibilidad y movilidad del elemento.

Existen múltiples factores que afectan la disponibilidad de cobre en el suelo: las reservas totales, pH (a mayor pH mayor extracción de cobre) (Schalscha *et al.*, 1968), contenido de materia orgánica, textura del suelo, temperatura e iones antagonistas.

De los micronutrientes catiónicos (cobre, cinc, manganeso, hierro), el cobre es el que está más fuertemente enlazado a la materia orgánica (Mengel y Kirkby, 1982; Schalscha *et al.*, 1968). Ello explica que la deficiencia de cobre sea más común en suelos ricos en humus los cuales fijan fuertemente el Cu^{2+} .

Con respecto a los iones antagonistas, Katyal y Randhawa (1986) mencionan que altos contenidos de nitrógeno y fósforo obstaculizan la nutrición de cobre de las plantas y, por consiguiente, originan la carencia del elemento. De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982), existe evidencia que el cinc también inhibiría la absorción de cobre y viceversa.

El nivel crítico de cobre en el suelo es de 0,5 mg/kg (Rodríguez *et al.*, 2001). Shoji (1993) establece que los niveles de cobre en Andisoles varía entre 3 y 141 mg/kg dependiendo del mineral primario formador el suelo.

2.5.3 Fertilización con cobre

Como se ha mencionado anteriormente, el cobre está fuertemente ligado al suelo, y por esta razón las cantidades de fertilizante a aplicar deben exceder las demandas del cultivo en forma considerable (Mengel y Kirkby, 1982). Existen varias fuentes de cobre tanto orgánicas como inorgánicas: sulfato de cobre, óxido de cobre y quelatos sintéticos entre otros.

La fuente aplicada en este ensayo es sulfato de cobre, que corresponde a una de las más utilizadas en los sistemas forestales ya que es soluble en agua y se usa tanto para el abonado de los suelos como para pulverizaciones foliares. Sus fórmulas químicas son $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ó $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y los contenidos de cobre en ellos son del 25 y 35% respectivamente.

2.6 Cinc

2.6.1 Cinc en las plantas

La forma en la cual el cinc es movilizado desde las raíces hasta las partes superiores de la planta es desconocida (Mengel y Kirkby, 1982), aún así, se sabe que cinc es poco móvil al interior de ésta, y en hojas seniles este elemento es casi inmóvil. El rol que juega el cinc en la planta es muy importante, ya que está directamente relacionado con el crecimiento del individuo (cuadro 4).

Los contenidos adecuados de cinc en el follaje de individuos en contenedor deben mantenerse dentro del rango de 20 a 30 mg/kg (INFOR-CORFO, 2004). Shoji *et al.* (1993) indican niveles de contenidos entre 20 y 100 mg/kg en el tejido vegetal.

2.6.2 Cinc en el suelo

Mengel y Kirkby (1982) indican niveles de cinc en el suelo de 10 a 300 mg/kg; mientras que Shoji *et al.* (1993) establece, para Andisoles, un rango de 60 a 100 mg/kg. Cinc puede encontrarse como parte de un gran número de minerales (augita, hornblenda, biotita) o formando sales muy solubles que no persisten en los suelos por mucho tiempo (Mengel y Kirkby, 1982). También puede encontrarse en los lugares de intercambio de minerales de arcilla y unido con fracciones orgánicas del suelo formando diversos complejos muchos de ellos fácilmente extraíbles por la planta (Schalscha *et al.*, 1968).

Siempre existe una fracción del cinc total que no es extraíble y que puede corresponder a estados de combinación más estables, tanto con la materia orgánica como con los constituyentes minerales (Schalscha *et al.*, 1968).

De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982), el cinc es absorbido de la solución del suelo en forma de iones o de quelatos al igual que cobre. Rodríguez *et al.* (2001) indican que el rango de niveles críticos de cinc en el suelo es de 0,5 a 1,0 mg/kg.

Existen múltiples factores que afectan el contenido de cinc disponible en el suelo: pH, contenido de materia orgánica, precipitaciones, textura y profundidad del suelo, iones antagonistas y temperatura (Katyal y Randhawa, 1986).

Con respecto al pH, la disponibilidad de cinc disminuye a medida que éste aumenta, y esto se debe a que el cinc es adsorbido con fuerza por otros minerales (Mengel y

Kirkby, 1982). Con un pH sobre 6,0 se registran con frecuencia graves deficiencias de este micronutriente.

La materia orgánica está asociada positivamente con la disponibilidad de cinc. Suelos con bajo contenido de ésta suelen acusar deficiencias del nutriente y esto ocurre porque la descomposición de la materia orgánica da origen a ciertos agentes de quelación que contribuyen a su disponibilidad para las plantas. Por lo tanto, en aquellos suelos en donde la materia orgánica es removida se producen deficiencias del elemento. No obstante, existen excepciones en suelos que tienen mucha materia orgánica (turberas o ciénagas) en donde la disponibilidad de cinc también es escasa.

Con respecto a los iones antagonistas, Mengel y Kirkby (1982) afirman que el cobre inhibe en forma explícita la absorción de cinc por la planta. Al parecer estos dos iones compiten por el mismo sitio de transporte. La interacción entre cinc y fósforo es, a su vez, antagónica, altos niveles de suministro de fósforo inducen la deficiencia de cinc (Mengel y Kirkby, 1982). Una alta disponibilidad de fosfatos en el suelo, sea debido a las características naturales de éste o causa de un tratamiento excesivo con fertilizantes fosfatados, resulta en un desorden metabólico y puede inducir a que se produzcan síntomas de deficiencia de cinc. Además, un exceso de hierro y manganeso pueden conducir a efectos análogos (Mengel y Kirkby, 1982).

A medida que la temperatura disminuye (tanto del suelo como atmosférica) y comienza la participación de inhibidores del metabolismo, la absorción de cinc disminuye. Con respecto al factor de profundidad, se debe mencionar que la oferta de cinc disminuye a mayor profundidad del suelo.

2.6.3 Fertilización con cinc

La baja disponibilidad de cinc en el suelo es una de las deficiencias de micronutrientes más comunes (Mengel y Kirkby, 1982). En la mayoría de los suelos, el contenido total del elemento es muy superior a los requerimientos de la plantación y el factor limitante lo constituye su disponibilidad. Aún así, según Mengel y Kirkby (1982), las deficiencias de cinc son fáciles de corregir. Existen varias fuentes de cinc, entre ellas, sulfatos, óxidos, quelatos y mezclas de cinc con fertilizantes. La fuente utilizada en este ensayo corresponde a sulfato de cinc.

El sulfato de cinc ($ZnSO_4 \cdot H_2O$) es el fertilizante más comúnmente utilizado debido a que es altamente soluble, fácil de utilizar y de bajo costo. Dependiendo del agua de cristalización, el contenido de cinc varía entre 23 (heptahidrato) y 36 (monohidrato) por ciento. Se encuentra disponible en forma de polvo, cristales y granular.

2.7 Boro

Es reconocida la deficiencia de boro como uno de los problemas nutricionales más importantes y extendidos en las plantaciones con especies de rápido crecimiento en nuestro país. Ella se presenta especialmente en suelos derivados de rocas graníticas

y de materiales volcánicos. Sin embargo, el grado de la deficiencia es más grave entre Valparaíso y Malleco (V a IX Regiones), en comparación con las regiones más australes (X Región). Este hecho encuentra su explicación principalmente en la influencia del factor suelo (material de origen principalmente), de las características de la plantación, de la influencia del hombre (uso del suelo) y complementariamente en la del factor clima (longitud de los períodos secos y menor cantidad de precipitaciones en invierno y primavera) (Schlatter y Gerding, 1985a y b).

Las deficiencias de boro causan la muerte de los ápices producto de un daño en el sistema vascular, esto causa la deformación del tronco, lo que afecta el valor comercial del producto, al disminuir el volumen aprovechable de madera.

2.7.1 Boro en las plantas

Boro desarrolla un papel importante en la fisiología de las plantas (cuadro 4) (Schlatter y Gerding, 1985b). De acuerdo con González (1982), Mengel y Kirkby (1982), Katyal y Randhawa (1986) y Andrade *et al.* (1995) el boro es considerado un nutriente de baja o nula movilidad en el floema, es decir, una vez incorporado al metabolismo de la planta, se comporta como un elemento relativamente inmóvil (Schlatter y Gerding, 1985b) (Rodríguez *et al.*, 2001).

Una vez que el nutriente ha sido absorbido, la tasa de transpiración en la planta jugaría un rol decisivo en el transporte del elemento. Esto sugiere que el boro es movilizado principalmente vía xilemática lo que se demuestra en que frecuentemente sus contenidos aumentan hacia las partes superiores de la planta (Schlatter y Gerding, 1985b) (cuadro 5). Este movimiento, en relación con el proceso de transpiración, sugiere que las deficiencias comienzan siempre en los puntos apicales, tanto del vástago como también de la raíz (González, 1982; Schlatter y Gerding, 1985b).

Cuadro 5. Contenido promedio de boro en los componentes de la biomasa aérea de *Pinus radiata* (mg/kg).

| Edad (años) | Acículas | Ramas | Ramillas | Ramas muertas | Madera | Corteza | Fuente |
|-------------|----------|-------|----------|---------------|--------|---------|-----------------|
| 14 | 18 | 3 | 8 | 6 | 2 | 6 | Rojas (1997) |
| 17 | 15 | 5 | 9 | 6 | 3 | 8 | Leonelli (1998) |

De acuerdo con investigaciones realizadas por Schlatter y Gerding (1985a) y Lambert *et al.* (1997), los contenidos de boro foliar se pueden clasificar según los siguientes niveles (expresados como contenido de boro por unidad de materia seca): a) deficiencia grave: ≤ 8 mg/kg; b) deficiencia moderada : 8-12 mg/kg; c) deficiencia leve: 12-15 mg/kg; d) buen abastecimiento: ≥ 15 mg/kg. Cuando los síntomas de deficiencia son observables en los individuos, se asume un grado de deficiencia grave y moderada, que son niveles en que tales síntomas aparecen en forma notoria.

A su vez, Lambert *et al.* (1997) establecen que contenidos entre los 3 y 7 mg/kg de boro foliar (expresados como contenido de boro por unidad de materia seca) ocasionarían síntomas de deficiencia crónica en los árboles. Aún así, estos valores fluctuarían según la disponibilidad de agua desde el suelo. Contenidos foliares por sobre los 100 mg/kg inician efectos negativos como por ejemplo, un menor desarrollo de la planta y una menor absorción de los demás elementos nutritivos (Schlatter y Gerding, 1985b).

En *Pinus radiata* (Schlatter y Gerding, 1985b), 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. De acuerdo con Lambert *et al.* (1997) existe una correlación positiva entre el contenido de boro foliar y la edad del rodal. Las deficiencias de boro se presentan generalmente en rodales jóvenes.

La muerte apical de árboles de *Eucalyptus* sp., común en las épocas más secas del año, ha sido corregida, total o parcialmente, por la aplicación de boro (Andrade *et al.*, 1995). La intensidad de la muerte apical varía con la intensidad y duración del período seco, con la especie y con la etapa de crecimiento de la vegetación (Althoff *et al.*, 1991). La diferencia en la intensidad de muerte apical entre especies de *Eucalyptus* puede reflejar una exigencia nutricional diferenciada por boro.

La competencia de gramíneas agrava la deficiencia de boro en especies arbóreas como *P. radiata* (Schlatter y Gerding, 1985b), ya que las plantas anuales se desarrollan bien con contenidos bajos de boro en sus tejidos, adaptándose a condiciones de baja oferta del elemento desde el suelo, compitiendo con las plantas por luz, agua y nutrientes (González, 1982).

2.7.2 Boro en el suelo

Existe una alta dependencia entre el grado de deficiencia de boro y factores como el material formador del suelo (Lambert *et al.*, 1997). En suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, los casos de deficiencia grave (contenido de boro foliar ≤ 8 mg/kg) son menos frecuentes que en suelos derivados de materiales graníticos, rojo arcillosos y arenales. En los suelos volcánicos jóvenes predominan las deficiencias de carácter leve o moderado (8-15 mg/kg de boro foliar) debido a su mayor fertilidad y a su coincidencia geográfica con áreas de mayores precipitaciones (Schlatter y Gerding, 1985a). Los autores citados mencionan deficiencias de boro moderadas a leves en plantaciones sobre suelos derivados de cenizas y arenas volcánicas entre Valdivia y Llanquihue, resultando más grave la carencia del elemento nutritivo en suelos de cenizas volcánicas pleistocénicas, más antiguas, de transición a suelo rojo arcilloso.

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 presentarían menores contenidos de boro (Schlatter y Gerding, 1985b). En suelos rojo arcillosos, los minerales de arcilla y los óxidos de aluminio y hierro, que lo

componen en proporciones altas, pueden además fijar el boro. Cabe destacar también, que los contenidos de boro pueden variar en el perfil, donde se pueden presentar estratos de distinto material en el subsuelo, más ricos en boro.

Otro factor que determina la disponibilidad de boro es el clima. Las precipitaciones juegan un papel importancia en la ocurrencia de la deficiencia de boro (Herbert, 1996; González, 1982; Gerding *et al.*, 1985; Schlatter y Gerding, 1985b; Lambert *et al.*, 1997). Cuando hay sequía, la absorción de boro disminuye ya que la disponibilidad del elemento desde el suelo se reduce (por fijación) y se reduce la transpiración. Este fenómeno es más frecuente en zonas climáticas con un período seco prolongado (como por ejemplo, zonas entre Valparaíso y Malleco). Esto se agrava en combinación con suelos de baja capacidad de almacenamiento de agua aprovechable para las plantas.

Una acumulación de sales solubles de boro en el suelo no es posible en climas húmedos por su fácil lixiviación. En aquellas exposiciones occidentales de la Cordillera de la Costa, bajo influencia del mar, se presentan mejores condiciones de humedad y obtienen 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 (Schlatter y Gerding, 1985b). En Australia, el problema de la lejanía de las plantaciones de la costa, agrava las deficiencias de boro ya que el aporte de este elemento por las precipitaciones es mínimo (Lambert *et al.* 1997).

Un tercer factor importante es el espacio arraigable. La profundidad de arraigamiento define el volumen accesible para las raíces. Cuando las plantas se encuentran en sus primeros años de vida, son más susceptibles a períodos prolongados de sequía ya que poseen un sistema radicular restringido. Es decir, ocupan el suelo superficial el cual está expuesto a sequedad y con ello 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 (a los 4-5 años en *Pinus radiata*) (Schlatter y Gerding, 1985b).

Condiciones de drenaje restringido o una alta densidad aparente, agravan 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. Este factor, en conjunto con las reservas nutritivas del suelo, depende en gran parte del contenido de materia orgánica (Schlatter y Gerding, 1985b).

La materia orgánica es la principal reserva de boro y se ha demostrado una estrecha correlación positiva entre ambas variables (González, 1982; Mengel y Kirkby, 1982; Lambert *et al.*, 1997). Es así como la asociación de boro con materia orgánica impide las pérdidas del elemento por lixiviación, contribuye a su acumulación en la capa superficial del suelo y modera los efectos perjudiciales del aumento del pH sobre la disponibilidad del elemento (González, 1982). Por lo tanto, cuando el suelo ha

perdido parte importante de sus reservas de materia orgánica, generalmente por erosión, quema de residuos u otra causa, significa una disminución de la capacidad de retención de agua y de disponibilidad de boro (Schlatter y Gerding, 1985b y 1985b).

Otro índice de la disponibilidad de boro en el suelo es el pH (González, 1982; Mengel y Kirkby, 1982, Schlatter y Gerding, 1985b). Krarup (2003) establece que la disponibilidad de boro en suelos orgánicos es menor a un pH inferior a 5,0 o superior a 7,0. Schlatter y Gerding (1985b) indican que un pH sobre 6 disminuye la disponibilidad del elemento (siendo máxima la adsorción con valores de 7 a 9 (González, 1982). Sin embargo, niveles de reacción tan elevados no son el caso general para los suelos forestales de Chile Central (V a IX Regiones).

De acuerdo con Mengel y Kirkby (1982), el contenido total de boro en el suelo varía en un rango de 20 a 200 mg/kg y en su mayoría se encuentra en forma no disponible para la planta. La fracción disponible está determinada por aquella parte soluble en agua caliente, y sus contenidos generalmente son menores a 5 mg/kg. Rodríguez *et al.* (2001) y Krarup (2003) indican que el rango de niveles críticos de boro en el suelo es de 0,5 a 1,0 mg/kg.

Existen iones en el suelo que afectan la disponibilidad de boro en el perfil. Calcio es uno de ellos (Krarup, 2003). Altos contenidos de calcio disminuyen la disponibilidad de boro en el suelo, esto, debido a que altas dosis del elemento podrían producir problemas en la absorción de boro por eventual excesivo incremento de pH. Krarup (2003) demostró que la aplicación conjunta de cal y boro evita la ocurrencia de síntomas de deficiencia en los cultivos, pero estas aplicaciones deben procurar no incrementar el pH del suelo por sobre 6 ya que disminuiría la absorción de boro en el surco.

2.7.3 Fertilización con boro

La deficiencia de boro es corregible. La temprana aparición de síntomas visuales específicos que indican su existencia, permite tomar medidas de corrección oportunas. Sin embargo, como la relación entre la ocurrencia de la deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus* sp. y los factores que la causan es conocida, es preferible tomar medidas de prevención (Schlatter y Gerding, 1985b, Lambert *et al.*, 1997). En aquellos suelos propensos a una deficiencia de boro, Schlatter y Gerding (1985b) recomiendan aplicar una fertilización preventiva antes que la plantación cumpla dos años de edad.

Andrade *et al.* (1995) establecen con respecto a la fertilización de *Eucalyptus* sp. en regiones sujetas a períodos secos prolongados, que la aplicación de boro un poco antes del término del período lluvioso podría elevar el estatus interno de la planta, dejándola en condiciones de soportar períodos de sequía más prolongados sin que la muerte apical aparezca o sea muy pronunciada.

Para lograr prevenir la insuficiencia y además lograr incrementos en el crecimiento de los árboles, Schlatter y Gerding (1985b) y Herbert (1996) recomiendan la fertilización con otros elementos, principalmente de fósforo y nitrógeno, y la eliminación de malezas. Una fertilización de nitrógeno sin considerar la adición de boro, agravaría el problema en plantaciones deficientes, ya que es conocida la interacción que existe entre boro y otros nutrientes como fósforo y nitrógeno (Lambert *et al.*, 1997).

La solución más estable a largo plazo para corregir las deficiencias de boro, deben apuntar entonces a mantener o mejorar la fertilidad del suelo, especialmente del suelo superficial.

Los fertilizantes más conocidos para corregir la deficiencia de boro son Boronatrocalcita (Ulexita, con un contenido del elemento boro de alrededor de 14%) (Schlatter y Gerding, 1985b; Krarup, 2003) en dosis de 6 a 15 g de Boronatrocalcita/planta (Gerding *et al.*, 1985), 2 - 4 g de B/planta (Prado y Toro, 1996) o 5 - 8 g de B/planta (Lambert *et al.*, 1997); Bórax (Tetraborato de sodio, con aprox. 11% de boro) (González, 1982) en dosis de 2,8 g de B/planta en suelos rojo arcillosos; (Schlatter y Gerding, 1985b) y ácido bórico (con alrededor de 17% de boro). Existen, sin embargo, numerosas otras formas que pueden ser utilizadas como fertilizantes (Schlatter y Gerding, 1985b).

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 (Schlatter y Gerding, 1985b).

En suelos arcillosos es posible aplicar una dosis más alta que en suelos arenosos (suelos ácidos) con el fin de mantener una reserva que sirva a la planta durante un período suficientemente prolongado. En estos suelos, sin embargo, existe un cierto peligro de fijación del elemento, hecho que determinará el método de aplicación más adecuado (Schlatter y Gerding, 1985b).

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Antecedentes generales del ensayo

3.1.1 Superficie y ubicación geográfica

El ensayo posee una superficie total de 32,7 ha. Se encuentra instalado en el predio Pichimaule, propiedad del Sr. Johann Pürstinger, en la comuna de Fresia (41°01' S y 73°27' O) a 1,2 km de la localidad de Tegualda, provincia de Llanquihue, Décima Región de los Lagos (anexo 2: figura 1). La altitud aproximada es de 200 m s.n.m.

3.1.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen y la adaptación desarrollada para Chile (Donoso, 1992), el clima del sector corresponde al de costa occidental con influencia mediterránea. El régimen de humedad es moderado, con una precipitación de 1.600 a 2.000 mm anuales y un período seco estival que puede extenderse de uno a dos meses al año. De acuerdo con la ubicación geográfica del ensayo, Schlatter *et al.* (1995) refieren una frecuencia de 20 a 30 heladas anuales, con un período libre de éstas de 150 a 200 días al año y una temperatura mínima de – 6°C.

3.1.3 Características, topografía y uso anterior del suelo

El ensayo se encuentra establecido sobre la serie de suelo Crucero. De acuerdo con Tosso (1985) la serie sería miembro de la familia fina mésica de los Ultisol (Andeptic Haplohumults). Sin embargo, actualmente es clasificada como Andisol, pero como parte de la familia media mésica (Acruoxic Hydric Hapludands) (CIREN, 1999). La serie Crucero se ubica en una zona de transición entre la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa entre los 150 y 200 m s.n.m. (Tosso, 1985; IREN – CORFO – UACH, 1978).

Son suelos profundos, de colores pardo oscuro a pardo rojizo en profundidad, texturas arcillosas en todo el perfil variando a franco arcillosa en profundidad (horizontes A y AB), buen arraigamiento hasta los 77 cm de profundidad, haciéndose escasas las raíces en profundidad (IREN – CORFO - UACH, 1978; Tosso, 1985, Aparicio, 2001).

El suelo sobre el cual se encuentra establecido el ensayo se caracteriza por ser franco arcilloso, ácido, con una baja disponibilidad de fósforo, agravada por la fijación que producen niveles altos de aluminio extractable (Aparicio, 2001 y Gerding *et al.*, 2001b). Posee adecuadas características de densidad y estructura. Los primeros 5 cm son los más fértiles y con menores deficiencias, sin embargo al profundizar en el suelo, comienzan a observarse bajos niveles de pH, fósforo y sodio (situación natural para las condiciones climáticas), en tanto se observan altos niveles de aluminio extraíble, lo cual dificultaría la asimilación de fósforo. Por otro lado, posee aceptables niveles de potasio y boro (anexo 2: cuadros 1 y 2).

La topografía del lugar es plana a suavemente ondulada lo cual coincide con las características de la serie de suelo (5 a 10% de pendiente con buen drenaje externo).

Antes de ser plantado con *E. nitens* el predio se destinaba a ganadería extensiva con praderas naturales, aunque presenta un historial agrícola previo (Gerding *et al.*, 2001a y b).

3.1.4 Preparación del sitio y manejo de la plantación

A continuación se presenta un calendario de las actividades de manejo desarrolladas en el predio durante la etapa de pre y postplantación (Aparicio, 2001; Gerding *et al.*, 2001a y b).

Marzo 1996

Control químico de malezas preplantación en toda la superficie del ensayo (32,7 ha) (Garlón 4®, Roundup®, Gesatop®, MCPA®, Li 700®).

Mayo 1996

Subsolado a 50 cm de profundidad, a una distancia media de 4,10 m en las líneas de plantación.

Junio 1996

- Fertilización preplantación con productos fosforados sobre bandas de 1,1 m de ancho mezclado con rotocultivador hasta 10 cm de profundidad (cuadro 6). De acuerdo con el esquema, se establecieron dos áreas experimentales con fuentes de fósforo de baja solubilidad y un área experimental control (sin fertilizar).
- Plantación con la especie *Eucalyptus nitens* a una densidad aproximada de 1.626 plantas/ha (4,1 m x 1,5 m). Se utilizaron plantas producidas en contenedor de semilla Macalyster (Victoria Central, Australia), seleccionadas según altura (25 - 30 cm), diámetro de cuello (4 mm en promedio) y sin problemas sanitarios.

Los tratamientos postplantación aplicados en los meses siguientes, en cada área experimental, pueden ser observados en el cuadro 6.

Las dosis de fertilizantes aplicadas en los años 1997 y 1999 se determinaron en base a los siguientes criterios: demanda esperada de la plantación, oferta de elementos nutritivos del suelo y oferta de los tratamientos preplantación aplicados, en función del crecimiento cuantificado.

Cuadro 6. Tratamientos de fertilización.

| Fertilización preplantación Junio 1996 (1) | Fertilización postplantación | | | Tratamientos (5) |
|---|--|---------------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Octubre 1996 (2) | Septiembre 1997 (3) | Agosto 1999 (4) | |
| BIFOX 48 Kg/ha de P (8 ha) | Sin fertilizar | Sin fertilizar | Sin fertilizar | B0 |
| | 135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes | 48 kg/ha P, 45 N, 10 K, B, Cu y Zn | 100 kg/ha P y 230 kg/ha N | B1 |
| Roca fosfórica Carolina del Norte 53 kg/ha de P (6,1 ha) | Sin fertilizar | Sin fertilizar | Sin fertilizar | R0 |
| | 135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes | 48 kg/ha P, 45 N, 10 K, B, Cu y Zn | 100 kg/ha P y 230 kg/ha N | R1 |
| Control (8,6 ha) | Sin fertilizar | Sin fertilizar | Sin fertilizar | T0 |
| | 135 g/planta de NPK (20:25:5) + micronutrientes | 96 kg/ha P, 45 N, 10 K, B, Cu y Zn | 112 kg/ha P y 230 kg/ha N | T1 |

(1): Aplicación preplantación.

(2): Aplicación de fertilizantes de alta solubilidad en dos bandas de 40 cm de largo, 5 cm de ancho y 5 cm de profundidad, a 5-10 cm de distancia de la planta, tanto en las áreas experimentales de fertilización base preplantación como en el área original de control. Como fuente de nitrógeno se usó urea, de fósforo, superfosfato triple y de potasio sulfato de potasio. Cinc y cobre como sulfatos; boro como boronatrocalcita. Adicionalmente, se realizó un control manual de maleza el cual se repitió en enero y febrero de 1998.

(3): Fertilización al voleo en fajas junto a las hileras de árboles. Como fuente de nitrógeno se usó urea, de fósforo, superfosfato triple (según oferta en el suelo), de potasio, muriato. 48 kg de boronatrocalcita, 5 kg de sulfato de cobre y 5 kg de sulfato de cinc.

(4): Fertilización al voleo. Como fuente de nitrógeno se usó supernitro y de fósforo, superfosfato triple (según oferta en el suelo).

(5): Cada tratamiento abarca una superficie de 50 x 50 m (2500 m²). Las aplicaciones base conforman un diseño en bloques.

La fertilización en preplantación con roca fosfórica (Bifox y Carolina del Norte) aporta fósforo de baja solubilidad en agua, lo cual disminuye el fenómeno de fijación inicial rápido propio de los suelos ácidos, favoreciendo el suministro de fósforo a mediano plazo (Aparicio, 2001 y Gerding *et al.*, 2001a y b). La fertilización con superfosfato triple (fuente de fósforo soluble), favorece el abastecimiento inmediato y de corto plazo del elemento.

3.1.5 Biomasa aérea

A los cinco años de edad, las plantaciones presentaban densidades entre 1.450 y 1.515 árb/ha. En los tratamientos sin fertilización postplantación, el diámetro medio cuadrático (DMC) varió entre 13,9 y 14,6 cm y la altura de los árboles dominantes fluctuó entre 15 y 17 m. Los tratamientos con fertilización postplantación presentaron un DMC de 15,1 a 15,8 cm (rango total de DAP: 7,1 – 23,5 cm) y una altura de 16 a

18,5 m. Conjuntamente, la biomasa aérea total a los 5 años de edad fluctuó entre 87 y 123 t/ha (cuadro 7) (Gerding *et al.*, 2002).

Cuadro 7. Biomasa aérea (kg/ha) de *Eucalyptus nitens* a los 5 años según tratamiento y componente.

| Componente | Tratamiento | | | | | |
|-----------------|-------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | B0 | B1 | R0 | R1 | T0 | T1 |
| Hojas Adultas | 9.820 | 13.948 | 11.894 | 12.270 | 12.141 | 14.901 |
| Hojas Juveniles | 504 | 246 | 408 | 1.174 | 211 | 207 |
| Ramas > 1 cm | 5.365 | 8.771 | 6.018 | 6.844 | 7.697 | 8.938 |
| Ramillas | 4.260 | 6.120 | 4.949 | 6.831 | 6.064 | 7.286 |
| Rama Muerta | 3.261 | 4.647 | 2.799 | 4.014 | 3.652 | 4.818 |
| Subtotal Copa | 23.210 | 33.732 | 26.068 | 31.133 | 29.765 | 36.150 |
| Madera | 56.794 | 78.038 | 64.462 | 66.197 | 59.239 | 77.311 |
| Corteza | 6.893 | 9.805 | 7.011 | 7.884 | 7.264 | 9.129 |
| Subtotal Tronco | 63.687 | 87.843 | 71.473 | 74.081 | 66.503 | 86.440 |
| Total | 86.897 | 121.575 | 97.541 | 105.214 | 96.268 | 122.590 |

Fuente: Gerding *et al.*(2002).

3.2 Evaluación del ensayo

3.2.1 Metodología de terreno

Para cada uno de los tratamientos se realizó un muestreo de biomasa aérea en mayo de 2000 (Saavedra, 2003²). En cada uno de estos se determinaron cinco estratos de crecimiento o clases diamétricas a partir del DMC (diámetro medio cuadrático) ± 1 y 2 desvíos estándar. De cada clase se talaron dos árboles, conformando una muestra de diez árboles por tratamiento. En cada uno, se midió altura hasta la primera rama viva y los componentes de la copa se separaron según su ubicación en tercios: inferior, medio y superior (anexo 3: figura 2).

A su vez, en terreno, para cada tercio se determinó peso húmedo de las ramas en conjunto con sus hojas, extrayéndose muestras representativas para su posterior separación en laboratorio. El peso mínimo de las muestras fue de un 20% del peso total de ramas y hojas de cada tercio de la copa (anexo 3: figura 2).

El tronco de los árboles seleccionados fue cortado y pesado en trozos de 1 m para calcular peso húmedo. Para estimar la proporción de madera y corteza, se extrajeron muestras para obtener peso seco y composición química elemental de estos componentes. Las muestras, consistentes en rodela con corteza de 8 a 10 cm de grosor, fueron extraídas de la base del árbol y cada dos metros de altura. En cada rodela se midió diámetro con y sin corteza (anexo 3: figura 2).

² Saavedra, C. Tesis en ejecución, Escuela de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile.

3.2.2 Metodología de laboratorio

La metodología utilizada para el cálculo de peso seco de los componentes de la copa y del tronco corresponde a la desarrollada por Saavedra². Las muestras de la totalidad de los componentes de la copa fueron separadas en: hojas adultas, hojas juveniles, ramillas (diámetro ≤ 1 cm), ramas (diámetro > 1 cm) y ramas muertas, y fueron agrupadas de acuerdo a la posición en la copa y al grupo de árboles (cuadro 8). Posteriormente se ponderó el peso húmedo de cada componente al peso total determinado en terreno.

Cuadro 8. Criterio de agrupamiento de las muestras del vuelo.

| Componente | Ubicación en la copa | Grupo de árboles* |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Hojas adultas | Tercios superior, medio, inferior | -2S, -1S, DMC, +1S, +2S |
| Hojas juveniles | Tercios superior, medio, inferior | -2S, -1S, DMC, +1S, +2S |
| Ramillas | Tercios superior, medio, inferior | chicos, grandes |
| Ramas | Tercios superior, medio, inferior | chicos, grandes |
| Ramas muertas | Tercios superior, medio, inferior | todos los árboles |

| Componente | Sección del fuste (m) | Grupo de árboles |
|------------|--------------------------|------------------|
| Madera | 0, 2, 4, 6, 8, ≥ 10 | chicos, grandes |
| Corteza | 0, 2, 4, 6, 8, ≥ 10 | chicos, grandes |

* árboles chicos = -2S, -1S; árboles grandes = DMC, +1S, +2S

Las muestras de los componentes del tronco (madera y corteza) fueron agrupados de acuerdo a la clase diamétrica a la cual pertenecía y la ubicación en altura en el tronco (cuadro 8).

La composición química de micronutrientes fue determinada de acuerdo con la metodología aplicada por Aparicio (2001) (cuadro 9). El material para los análisis químicos de cada componente de la biomasa proviene, para cada tercio de la copa, de una mezcla de los árboles que formaron cada estrato.

Cuadro 9. Metodología analítica para el material vegetal*.

| Elemento | Metodología | Procedimiento |
|---------------|-------------------------|---|
| Boro | Calcinación y digestión | Mufla a 500 °C y digestión (HCl 10%), determinación por colorimetría |
| Cobre Cinc | Calcinación y digestión | Mufla a 500 °C y digestión (HCl 10%), determinación por espectrofotometría de absorción atómica |
| Cenizas | Calcinación | Mufla a 500 °C |

*Metodología realizada por el Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Universidad Austral de Chile.

3.2.3 Análisis de datos

El primer paso consistió en la validación de los datos obtenidos en laboratorio mediante la evaluación de sus tendencias, que se basó en:

- Evaluación gráfica del comportamiento de cada micronutriente según tratamiento.
- Evaluación gráfica del comportamiento de cobre en relación a fósforo, cinc, nitrógeno y azufre; boro en relación a nitrógeno, cinc, azufre y fósforo y finalmente cinc en relación a nitrógeno, fósforo y cobre principalmente, relaciones que son mencionadas en el marco teórico.

De esta forma, fueron detectados 19 datos anómalos correspondientes a contenidos de microelementos en diversos componentes. Tales datos fueron corregidos según las tendencias antes mencionadas y correspondieron al 1,2 % del total de datos de contenidos de elementos nutritivos.

Como se mencionó anteriormente, los valores del contenido de microelementos obtenidos para el tronco, provienen de muestras extraídas de la base del árbol y cada dos metros de altura. Para determinar el contenido de las muestras extraídas cada un metro de altura fue necesario calcular un valor ponderado. Debido a que la forma del tronco no es cilíndrica sino más bien cónica, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$C = \frac{(C_i * d_i^2) + (C_{i+2} * d_{i+2}^2)}{d_i^2 + d_{i+2}^2} \quad (1)$$

Donde:

C : contenido ponderado (mg/kg),

C_i : contenido del micronutriente a la altura i metros (mg/kg),

d_i : diámetro de la rodela a la altura i metros (cm),

C_{i+2} : contenido del micronutriente a la altura $i + 2$ metros (mg/kg),

d_{i+2} : diámetro de la rodela a la altura $i + 2$ metros (cm).

El cálculo de las cantidades por clase diamétrica de cada elemento nutritivo, tanto en la copa como en el tronco, se realizó a partir de la siguiente función (Aparicio, 2001 y Gerding *et al.*, 2001a y b):

$$Q_{ij} = B_j * C_{ij} * F_i \quad (2)$$

Donde:

Q_{ij} : cantidad del micronutriente i en el componente j (g/ha);

B_j : biomasa del componente j (kg/ha);

C_{ij} : contenido del micronutriente i en el componente j (mg/kg);

F_i : factor de conversión para el micronutriente i según la unidad de expresión de C_i . Cuando C_i (mg/kg), $F_i = 1/1.000$.

Para calcular la biomasa de los componentes por hectárea (B_j) y por estrato de crecimiento, se utilizó la siguiente ecuación:

$$B_j = B_p * P * N \quad (3)$$

Donde:

B_p : Biomasa promedio por estrato de crecimiento (kg), para el componente j ,

P : Proporción de individuos por estrato de crecimiento (%),

N : Número de árboles/ha en cada tratamiento.

Finalmente, y con el fin de realizar una síntesis de la información obtenida, los valores obtenidos para cada micronutriente según componente y tercio, fueron agrupados en hojas (hojas juveniles + hojas adultas), ramas (ramas > 1cm + ramillas), ramas muertas, madera y corteza.

3.2.4 Cálculos

Se evaluaron los contenidos y cantidades de cobre, cinc y boro en cada uno de los componentes de la copa y del tronco con el fin de observar su variabilidad. Primero, se calculó la correlación de Pearson (r), para medir el grado en que dos variables variaron conjuntamente (intensidad de asociación), el objetivo fue verificar si el tamaño de los árboles influye en los contenidos de cada micronutriente en los componentes de la biomasa. Además, se determinó el coeficiente de variación, para observar las desviaciones de los valores con respecto a la media calculada para cada componente.

Se realizó un análisis de varianza factorial de dos factores (3*2) (Sokal y Rohlf, 1979) (cuadro 10) con y sin repetición, de acuerdo con el grupo de árboles establecidos según el criterio de agrupamiento de las muestras del vuelo (cuadro 8).

Cuadro 10. Análisis factorial.

| Fertilización preplantación | Fertilización postplantación | |
|-----------------------------|------------------------------|---------|
| | 0 (sin) | 1 (con) |
| Bifox (B) | B0 | B1 |
| Roca fosfórica (R) | R0 | R1 |
| Testigo (T) | T0 | T1 |

El análisis de varianza del contenido de microelementos en el componente hoja juvenil se hizo sin repetición y sólo en el tercio inferior, debido a la irregularidad en la presencia de éste en los diferentes tercios y clases diamétricas.

La significancia del análisis estadístico fue probada al 95, 99 y 99,9% (Freund, 2000).

Además, se presentan cuadros resúmenes con los valores promedio de los contenidos de los elementos para cada componente.

4. RESULTADOS

4.1 Caracterización de los contenidos de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea del rodal

En todos los componentes de la biomasa aérea no existe correlación significativa entre la clase diamétrica y el contenido de cada microelemento (cuadro 11). La figura 1 ejemplifica este comportamiento para el caso de las hojas adultas.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre el contenido de micronutrientes y la clase diamétrica de los árboles, para componentes de la biomasa aérea según microelemento (en todos los casos $p > 0,05$).

| Componente | Microelemento | | |
|--------------------------------|---------------|--------|--------|
| | Cobre | Cinc | Boro |
| Hoja adulta / Tercio superior | - 0,19 | - 0,15 | 0,38 |
| Hoja adulta / Tercio medio | - 0,10 | - 0,07 | 0,15 |
| Hoja adulta / Tercio inferior | - 0,08 | 0,06 | - 0,23 |
| Hoja juvenil / Tercio medio | - | - | - |
| Hoja juvenil / Tercio inferior | - | - | - |
| Rama > 1 cm / Tercio superior | - 0,12 | - 0,56 | - 0,19 |
| Rama > 1 cm / Tercio medio | 0,38 | - 0,27 | 0,37 |
| Rama > 1 cm / Tercio inferior | - 0,13 | - 0,34 | - 0,19 |
| Ramilla / Tercio superior | 0,03 | 0,31 | 0,55 |
| Ramilla / Tercio medio | 0,38 | - 0,27 | 0,37 |
| Ramilla / Tercio inferior | 0,41 | - 0,46 | - 0,20 |
| Rama muerta / Tercio inferior | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Madera / Árboles chicos | 0,57 | 0,41 | 0,20 |
| Madera / Árboles grandes | 0,28 | 0,27 | 0,05 |
| Corteza / Árboles chicos | 0,70 | 0,49 | 0,76 |
| Corteza / Árboles grandes | 0,63 | 0,48 | 0,49 |

Al no ser en su mayoría significativos los coeficientes de correlación, los contenidos de cada microelemento pueden ser analizados en forma conjunta sin discriminar por tamaño del árbol (clase diamétrica). De esta forma, se pueden obtener los valores máximos y mínimos (anexo 5: cuadros 17 y 18), promedios (cuadro 12 y 13) y razones entre microelementos (cuadros 14 y 15) según tratamiento de fertilización.

Para el caso de ramas muertas, no se obtuvo el coeficiente de correlación pues es un valor único para todas las clases diamétricas.

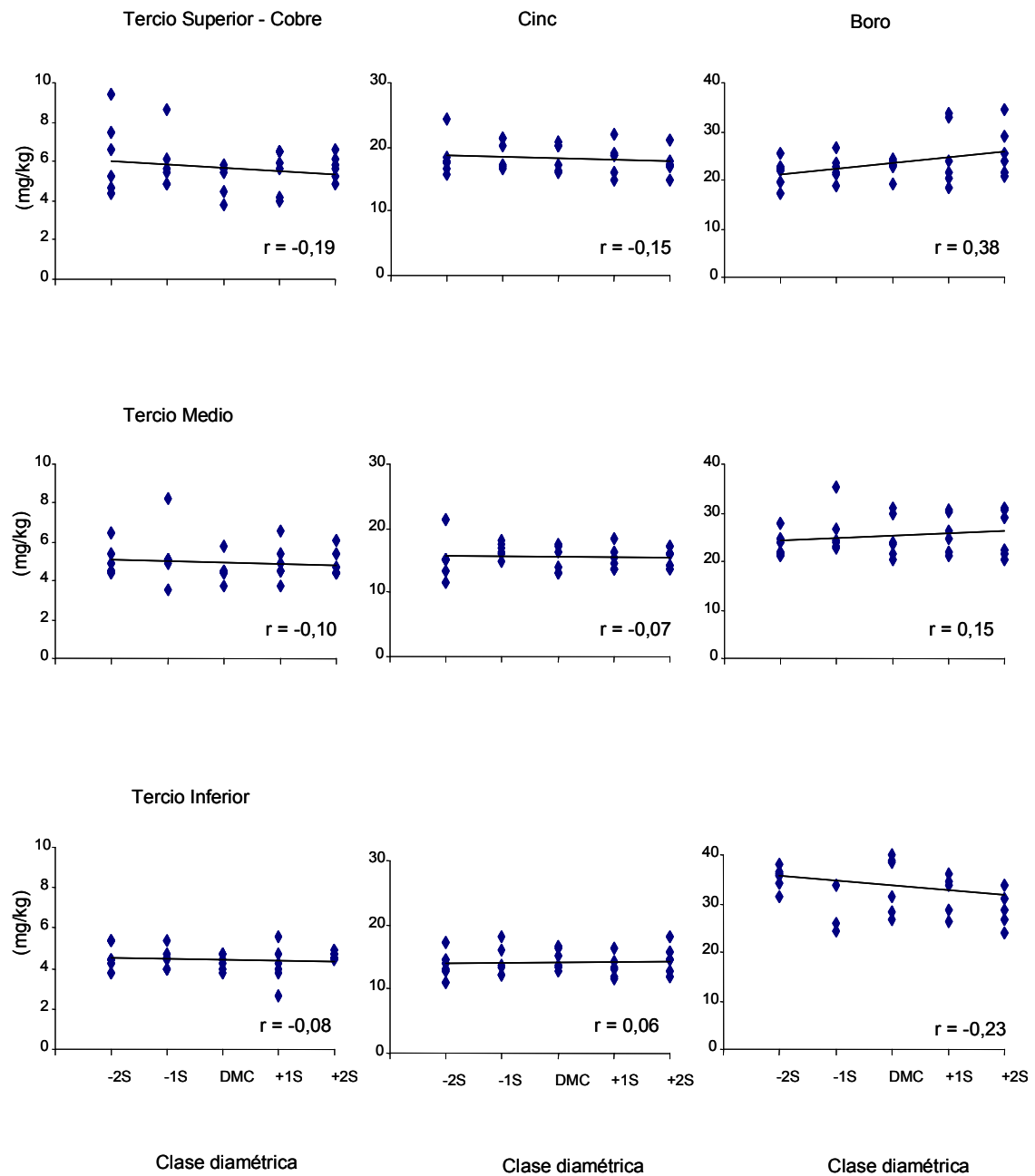


Figura 1. Variación de los contenidos de cobre, cinc y boro (mg/kg) según clase diamétrica para el componente hoja adulta en el tercio superior, medio e inferior de la copa de los árboles para los seis tratamientos. Todos los r con $p > 0,05$.

4.1.1 Comportamiento individual promedio de cada elemento

En el caso de las hojas, independiente de la posición en la copa, los contenidos de boro son superiores que los de cinc y estos últimos que los de cobre. Los mayores

contenidos de boro se encuentran en la base de la copa, al contrario de cobre y cinc, que se encuentran en el tercio superior de ésta.

Cuadro 12. Contenido promedio de cobre, cinc, boro (mg/kg) y ceniza (%) según componente de la copa y del tronco para los tratamientos sin fertilización postplantación.

| Componente de la copa | Tercio | B0 | | | | R0 | | | | T0 | | | |
|-----------------------|----------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|
| | | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza |
| Hoja adulta | Superior | 5,6 | 18,9 | 22,6 | 4,0 | 5,3 | 16,1 | 21,3 | 3,5 | 7,3 | 19,4 | 24,6 | 3,0 |
| | Medio | 5,1 | 16,1 | 23,6 | 3,9 | 4,1 | 14,0 | 21,7 | 4,4 | 6,1 | 17,2 | 25,1 | 3,5 |
| | Inferior | 4,8 | 15,0 | 31,3 | 5,2 | 4,1 | 14,0 | 29,0 | 5,6 | 4,6 | 13,8 | 31,7 | 4,6 |
| Hoja juvenil | Superior | — | — | — | — | — | — | — | — | 7,7 | 17,7 | 28,3 | 3,4 |
| | Medio | — | — | — | — | 4,4 | 9,3 | 22,6 | 4,1 | 6,5 | 18,5 | 21,5 | 3,5 |
| | Inferior | 4,1 | 14,7 | 40,2 | 6,9 | 3,3 | 12,0 | 34,7 | 7,3 | 4,4 | 13,4 | 35,6 | 4,8 |
| Ramilla | Superior | 4,0 | 14,7 | 13,4 | 2,8 | 4,7 | 11,9 | 13,3 | 3,3 | 5,8 | 19,3 | 17,6 | 3,0 |
| | Medio | 4,7 | 15,1 | 11,1 | 2,7 | 5,5 | 11,6 | 11,9 | 3,2 | 5,8 | 13,1 | 14,1 | 2,6 |
| | Inferior | 5,8 | 12,0 | 7,8 | 3,2 | 6,8 | 11,3 | 7,3 | 3,9 | 6,0 | 12,1 | 13,3 | 3,1 |
| Rama > 1 cm | Superior | 2,8 | 11,1 | 6,2 | 1,7 | 4,2 | 13,2 | 7,5 | 2,2 | 4,5 | 15,0 | 10,9 | 2,1 |
| | Medio | 3,7 | 15,3 | 6,7 | 2,4 | 3,7 | 12,3 | 6,3 | 2,0 | 4,2 | 13,6 | 8,7 | 1,7 |
| | Inferior | 4,5 | 14,2 | 5,5 | 2,0 | 6,2 | 11,6 | 4,7 | 2,7 | 4,3 | 11,2 | 8,5 | 1,8 |
| Rama muerta | | 6,4 | 8,1 | 10,4 | 6,2 | 4,1 | 6,2 | 5,8 | 2,6 | 6,1 | 17,0 | 8,8 | 2,6 |
| Componente del tronco | Corteza | 3,4 | 8,3 | 17,5 | 5,5 | 3,3 | 8,3 | 16,9 | 5,5 | 4,2 | 9,7 | 19,6 | 5,6 |
| | Madera | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 0,6 | 0,9 | 2,1 | 4,1 | 0,9 | 2,3 | 2,8 | 4,3 | 0,4 |

— : No hubo tejido en el componente.

En ramas y ramillas, los comportamientos resultan diferentes. En la mayoría de los casos, boro y cinc se comportan análogamente, aumentando en contenido desde la base de la copa hacia el ápice, en cambio cobre disminuye.

Cuadro 13. Contenido promedio de cobre, cinc, boro (mg/kg) y ceniza (%) según componente de la copa y del tronco para los tratamientos con fertilización postplantación.

| Componente de la copa | Tercio | B1 | | | | R1 | | | | T1 | | | |
|-----------------------|----------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|
| | | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza |
| Hoja adulta | Superior | 5,0 | 18,1 | 23,5 | 4,1 | 5,5 | 18,3 | 21,9 | 2,6 | 5,4 | 18,9 | 27,5 | 2,5 |
| | Medio | 4,6 | 14,7 | 26,8 | 3,9 | 4,6 | 15,0 | 27,8 | 3,1 | 5,2 | 16,5 | 26,7 | 2,7 |
| | Inferior | 4,4 | 13,1 | 36,6 | 5,1 | 4,2 | 14,0 | 34,4 | 4,3 | 4,6 | 14,7 | 39,2 | 3,5 |
| Hoja juvenil | Superior | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Medio | 3,3 | 13,7 | 28,4 | 3,8 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | Inferior | 3,5 | 10,9 | 43,1 | 5,5 | 3,4 | 13,8 | 47,9 | 5,8 | 4,3 | 13,4 | 43,0 | 3,3 |
| Ramilla | Superior | 3,4 | 15,2 | 12,7 | 2,6 | 4,2 | 13,9 | 14,5 | 2,5 | 4,6 | 16,3 | 14,7 | 2,4 |
| | Medio | 3,5 | 12,5 | 9,9 | 2,8 | 4,3 | 11,9 | 12,0 | 2,4 | 4,5 | 13,7 | 11,6 | 2,3 |
| | Inferior | 4,1 | 11,3 | 6,0 | 3,7 | 5,1 | 13,2 | 10,7 | 3,2 | 4,9 | 13,7 | 11,0 | 2,7 |
| Rama > 1 cm | Superior | 2,5 | 16,9 | 7,4 | 1,7 | 3,8 | 16,3 | 8,8 | 1,8 | 4,0 | 16,0 | 8,6 | 1,8 |
| | Medio | 2,6 | 13,6 | 4,0 | 1,8 | 3,5 | 16,9 | 8,3 | 1,9 | 3,2 | 15,7 | 8,2 | 1,7 |
| | Inferior | 3,1 | 10,2 | 4,3 | 2,2 | 3,6 | 14,9 | 7,9 | 2,3 | 3,0 | 12,5 | 7,1 | 1,6 |
| Rama muerta | | 3,8 | 11,4 | 7,8 | 3,6 | 2,9 | 11,4 | 8,2 | 2,7 | 4,1 | 11,6 | 8,6 | 2,3 |
| Componente del tronco | Corteza | 2,8 | 7,3 | 16,5 | 5,5 | 3,3 | 11,2 | 17,8 | 6,0 | 3,3 | 11,0 | 18,2 | 5,6 |
| | Madera | 1,1 | 2,1 | 6,5 | 0,7 | 2,7 | 3,9 | 4,5 | 0,6 | 1,9 | 2,0 | 5,0 | 0,5 |

— : No hubo tejido en el componente.

En el caso de los tratamientos sin fertilización postplantación (cuadro 12), los contenidos de cobre no presentaron una tendencia clara desde la base del árbol hacia la copa. En general, se observa que los mayores valores promedio se encuentran en las hojas que, como se mencionó anteriormente, incrementan su contenido desde la base hacia el ápice, contrario al comportamiento de ramas y ramillas. Los mayores contenidos promedio de cobre se obtuvieron en tratamientos testigo, donde los valores en las hojas juveniles superan a hojas adultas y los de ramillas a ramas. En el tronco, la corteza es la que posee mayores contenidos. Para el caso de los tratamientos con fertilización postplantación (cuadro 13), los valores siguen, en general, el siguiente gradiente de contenidos (anexo 4: cuadros 15 y 16): Hoja adulta > Ramilla > Rama muerta > Hoja juvenil > Rama > Corteza > Madera.

Con respecto a cinc, tanto en los tratamientos sin fertilización postplantación como con fertilización, las hojas adultas son las que presentan los mayores valores. Se destacan los altos contenidos en el tratamiento T0. El gradiente (anexo 4: cuadros 15 y 16) resulta: Hoja adulta > Rama > Ramilla > Hoja juvenil > Rama muerta > Corteza > Madera.

Boro posee un comportamiento bastante marcado y constante en la mayoría de los tratamientos. Las hojas se caracterizan por poseer los contenidos más altos del elemento. La secuencia de gradiente de contenidos es (anexo 4, cuadros 15 y 16): Hoja juvenil > Hoja adulta > Corteza > Ramilla > Rama > Rama muerta > Madera. Nuevamente, al igual que cinc, se destacan los altos valores del tratamiento T0.

En los tres microelementos, es la madera el componente que posee los menores contenidos.

4.1.2 Comportamiento entre elementos

En los tratamientos sin fertilización postplantación (cuadro 14), las razones cobre: cinc más pequeñas se observan en los componentes hojas y ramas, donde los contenidos de cinc son hasta 4 veces mayores que los de cobre. Las razones cobre: boro más pequeñas también se observan en las ramas pero además en la corteza, donde los contenidos de boro son hasta 6 veces mayores que los de cobre. Cinc: boro presenta patrones similares en los tres tratamientos, y la relación más pequeña se encuentra siempre en la corteza, donde los contenidos de boro son el doble de los cinc.

Para el caso de los tratamientos con fertilización postplantación (cuadro 15), tanto la razón cobre: cinc como cobre: boro presentan siempre la relación más pequeña en el componente rama y hojas respectivamente. En el primer caso, los contenidos de cinc resultan hasta 5 veces mayores y, en la segunda, los contenidos de boro son hasta 8 veces mayores.

Individualmente, la razón cobre: cinc aumenta en la corteza y se hace mayor en la madera. Son destacables las proporciones observadas en los tratamientos con fertilización post plantación en los que claramente los contenidos de cinc son más

altos, específicamente en el tratamiento B1 donde, para el total de la copa, los contenidos de cinc son cuatro veces más grandes que los de cobre.

Cuadro 14. Proporciones entre elementos de la biomasa aérea para los tratamientos sin fertilización postplantación.

| Componente | B0 | | | R0 | | | T0 | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B |
| Hojas | 1:3,3 | 1:6,0 | 1:1,8 | 1:3,1 | 1:6,1 | 1:2,0 | 1:2,7 | 1:4,6 | 1:1,7 |
| Rama > 1 cm | 1:3,7 | 1:1,7 | 1:0,5 | 1:2,6 | 1:1,3 | 1:0,5 | 1:3,1 | 1:2,2 | 1:0,7 |
| Ramilla | 1:2,9 | 1:2,2 | 1:0,8 | 1:2,1 | 1:1,9 | 1:0,9 | 1:2,5 | 1:2,6 | 1:1,0 |
| Rama muerta | 1:1,3 | 1:1,6 | 1:1,3 | 1:1,5 | 1:1,4 | 1:0,9 | 1:2,8 | 1:1,5 | 1:0,5 |
| Total copa | 1:3,0 | 1:3,5 | 1:1,2 | 1:2,6 | 1:3,3 | 1:1,3 | 1:2,8 | 1:3,4 | 1:1,2 |
| Madera | 1:1,4 | 1:2,0 | 1:1,5 | 1:2,3 | 1:4,6 | 1:2,0 | 1:1,2 | 1:1,9 | 1:1,6 |
| Corteza | 1:2,5 | 1:5,2 | 1:2,1 | 1:2,5 | 1:5,2 | 1:2,1 | 1:2,3 | 1:4,7 | 1:2,0 |
| Total tronco | 1:2,1 | 1:4,1 | 1:2,0 | 1:2,5 | 1:5,0 | 1:2,0 | 1:1,9 | 1:3,7 | 1:1,9 |
| Contenido total | 1:2,5 | 1:3,8 | 1:1,5 | 1:2,5 | 1:4,1 | 1:1,6 | 1:2,3 | 1:3,5 | 1:1,5 |

Cuadro 15. Proporciones entre elementos de la biomasa aérea para los tratamientos con fertilización postplantación.

| Componente | B1 | | | R1 | | | T1 | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B | Cu:Zn | Cu:B | Zn:B |
| Hojas | 1:3,4 | 1:7,6 | 1:2,3 | 1:3,5 | 1:7,5 | 1:2,2 | 1:3,3 | 1:7,0 | 1:2,2 |
| Rama > 1 cm | 1:5,0 | 1:1,9 | 1:0,4 | 1:4,4 | 1:2,3 | 1:0,5 | 1:4,3 | 1:2,3 | 1:0,5 |
| Ramilla | 1:3,6 | 1:2,6 | 1:0,7 | 1:2,9 | 1:2,7 | 1:1,0 | 1:3,1 | 1:2,7 | 1:0,9 |
| Rama muerta | 1:3,0 | 1:2,0 | 1:0,9 | 1:3,9 | 1:2,8 | 1:0,7 | 1:2,8 | 1:2,1 | 1:0,7 |
| Total copa | 1:3,7 | 1:4,8 | 1:1,3 | 1:3,5 | 1:4,5 | 1:1,3 | 1:3,4 | 1:4,3 | 1:1,3 |
| Madera | 1:1,9 | 1:5,8 | 1:3,2 | 1:1,5 | 1:1,7 | 1:1,2 | 1:1,1 | 1:2,7 | 1:2,5 |
| Corteza | 1:2,6 | 1:6,0 | 1:2,3 | 1:3,4 | 1:5,3 | 1:1,6 | 1:3,3 | 1:5,5 | 1:1,6 |
| Total tronco | 1:2,4 | 1:5,9 | 1:2,5 | 1:2,5 | 1:3,7 | 1:1,5 | 1:2,5 | 1:4,5 | 1:1,8 |
| Contenido total | 1:3,1 | 1:5,4 | 1:1,8 | 1:2,9 | 1:4,0 | 1:1,4 | 1:2,9 | 1:4,4 | 1:1,5 |

La razón cobre: boro, aumenta en ramas y ramillas, siendo siempre superior en ramillas. Lo mismo ocurre entre los componentes madera y corteza donde, en todos los tratamientos, la segunda es superior. La proporción cinc: boro es la única en la que se pueden observar valores superiores a uno; en los componentes rama, ramilla y rama muerta los contenidos de cinc son superiores a boro, destacándose los valores en el componente rama.

4.1.3 Variabilidad de los contenidos

El componente que presenta la mayor variabilidad en los tratamientos sin fertilización postplantación (cuadro 16) son las ramas con valores cercanos al 39%. Aproximadamente un quinto de los valores en los componentes hoja adulta, ramilla y rama poseen coeficientes de variación sobre el 20%. Un tercio de los valores del componente hoja juvenil varía sobre el 20%.

Cuadro 16. Coeficiente de variación (%) de los contenidos de cobre, cinc y boro en los tratamientos sin fertilización postplantación.

| Componente | Tercio | B0 | | | R0 | | | T0 | | |
|--------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B |
| Hoja adulta | superior | 11,6 | 11,2 | 12,9 | 28,3 | 7,6 | 9,1 | 21,7 | 15,5 | 19,1 |
| | medio | 10,3 | 10,5 | 7,9 | 15,8 | 8,1 | 5,1 | 22,5 | 14,3 | 17,6 |
| | inferior | 6,5 | 15,6 | 13,9 | 7,4 | 8,5 | 17,7 | 25,2 | 16,3 | 23,8 |
| Hoja juvenil | inferior | 20,8 | 15,7 | 20,0 | 25,1 | 16,0 | 10,8 | 3,5 | 6,8 | 14,3 |
| | superior | 20,5 | 5,9 | 2,5 | 7,1 | 3,2 | 20,1 | 10,3 | 11,7 | 15,0 |
| | medio | 5,8 | 2,2 | 1,5 | 26,1 | 11,8 | 11,5 | 5,6 | 7,5 | 13,2 |
| Ramilla | inferior | 2,8 | 12,8 | 20,5 | 22,6 | 19,0 | 6,8 | 9,1 | 2,7 | 7,4 |
| | superior | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,0 | 33,2 | 13,2 | 3,6 | 6,9 | 0,0 |
| | medio | 16,1 | 21,2 | 38,5 | 27,8 | 33,1 | 17,4 | 5,3 | 4,4 | 5,6 |
| Rama > 1 cm | inferior | 11,1 | 10,8 | 37,7 | 7,1 | 6,1 | 1,2 | 18,0 | 21,6 | 2,6 |

En los tratamientos con fertilización postplantación (cuadro 17), al igual que en los sin fertilización, el componente con mayor variabilidad es rama > 1 cm, que alcanza hasta un 40% en sus coeficientes. En este componente, el tercio de los valores superan el 20% de variabilidad (similar a hoja juvenil en cuadro 16); en el componente ramilla, el 15% y en hoja adulta el 11%. Las hojas juveniles no presentan valores superiores al 20% de variación.

Cuadro 17. Coeficiente de variación (%) en los contenidos de cobre, cinc y boro en los tratamientos con fertilización postplantación.

| Componente | Tercio | B1 | | | R1 | | | T1 | | |
|--------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B |
| Hoja adulta | superior | 15,4 | 14,0 | 11,8 | 8,9 | 10,9 | 21,0 | 15,2 | 11,1 | 22,2 |
| | medio | 4,3 | 15,0 | 11,7 | 6,4 | 8,3 | 21,1 | 17,5 | 11,2 | 13,4 |
| | inferior | 2,5 | 17,4 | 8,1 | 10,2 | 6,6 | 17,0 | 13,6 | 16,2 | 7,4 |
| Hoja juvenil | inferior | 8,1 | 10,4 | 5,7 | 16,8 | 8,9 | 18,0 | 12,3 | 14,2 | 12,0 |
| | superior | 3,2 | 6,5 | 0,9 | 6,5 | 17,7 | 16,3 | 25,2 | 24,8 | 17,5 |
| | medio | 9,5 | 2,2 | 1,1 | 8,9 | 8,8 | 7,7 | 19,6 | 3,2 | 0,0 |
| Ramilla | inferior | 5,4 | 4,8 | 41,7 | 10,7 | 7,1 | 6,2 | 22,4 | 1,2 | 0,5 |
| | superior | 34,5 | 32,2 | 34,9 | 11,5 | 6,4 | 8,1 | 16,3 | 7,2 | 3,8 |
| | medio | 40,7 | 5,2 | 28,5 | 6,3 | 1,3 | 11,2 | 8,6 | 35,9 | 16,7 |
| Rama > 1 cm | inferior | 35,3 | 0,5 | 10,1 | 19,9 | 14,7 | 6,2 | 0,0 | 41,3 | 13,2 |

Cobre es el elemento con mayor variabilidad ya que un cuarto de todos sus valores (sin diferenciar por componente) están por sobre el 20% de variación, le siguen boro (un quinto) y cinc (un décimo).

4.1.4 Influencia de los tratamientos pre y postplantación en los contenidos de cobre, cinc y boro

La variación en los contenidos de los tres micronutrientes no se vio influida por los tratamientos pre y postplantación (anexo 7: cuadros 31 a 33). De esta forma, los contenidos se pueden analizar en forma conjunta sin discriminar por tratamiento (figura 2).

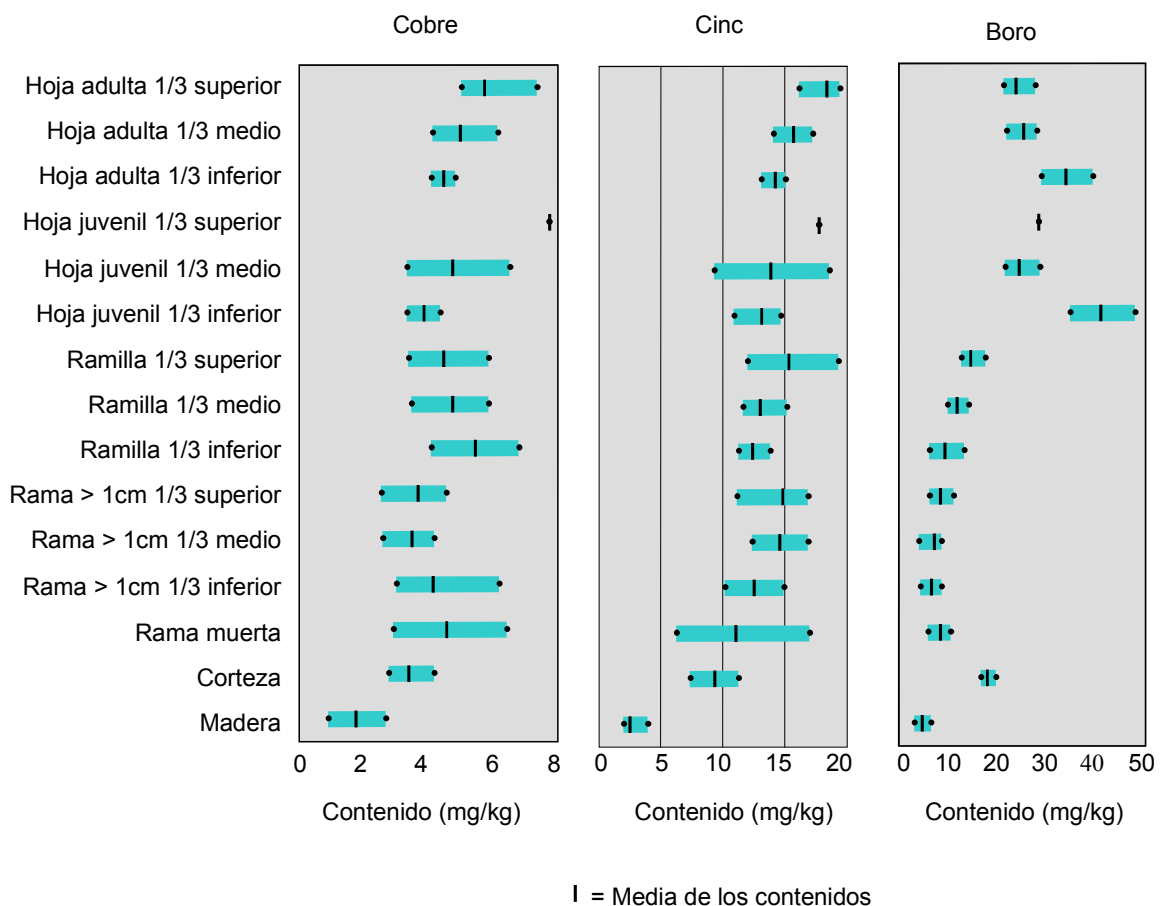


Figura 2. Rangos y media de contenidos (mg/kg) de cobre, cinc y boro para los componentes de la biomasa aérea, considerando todos los tratamientos.

Como se mencionó en el punto 4.1.1, en las hojas es boro el elemento que se encuentra en mayores contenidos (hasta 50 mg/kg), luego cinc y finalmente cobre. La figura 2 ejemplifica también lo mencionado en el punto 4.1.2 y se puede observar que la razón cobre: boro es muy pequeña y los contenidos de este elemento son

hasta cuatro veces superiores a los de cobre (cuadro 14 y 15), que no superan los 8 mg/kg.

También se puede observar que los contenidos promedio de cinc son superiores a los de boro en los componentes ramilla, rama > 1 cm y rama muerta, donde la mayoría de los contenidos de boro no sobrepasan los 10 mg/kg.

Estas tendencias son fáciles de apreciar si se observa solamente el punto que indica la media de los valores, pero también se ve que los rangos son bastante amplios y en muchos casos, se superponen.

Es el caso de cobre en particular, que efectivamente presenta el porcentaje más alto de coeficientes de variación sobre el 20% (cuadros 16 y 17).

En las figuras 3 y 4 se puede observar el comportamiento de cada elemento según la altura en el tronco. Efectivamente ocurre lo mencionado en el punto 4.1.1: los contenidos en la corteza son superiores a los de la madera, en los tres casos.

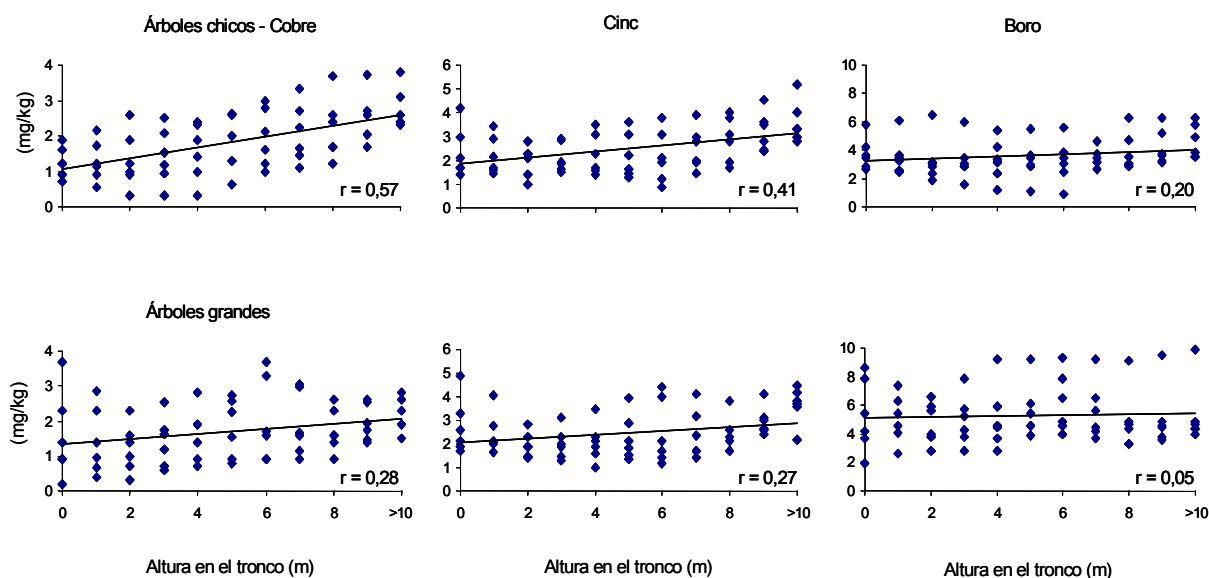


Figura 3. Variación de los contenidos de cobre, cinc y boro (mg/kg) en la madera según altura en el tronco, para los seis tratamientos.

En la madera, cobre presenta una clara tendencia a aumentar en altura, sin embargo, boro es más constante y no presenta diferencias claras, opuesto a su comportamiento en la copa.

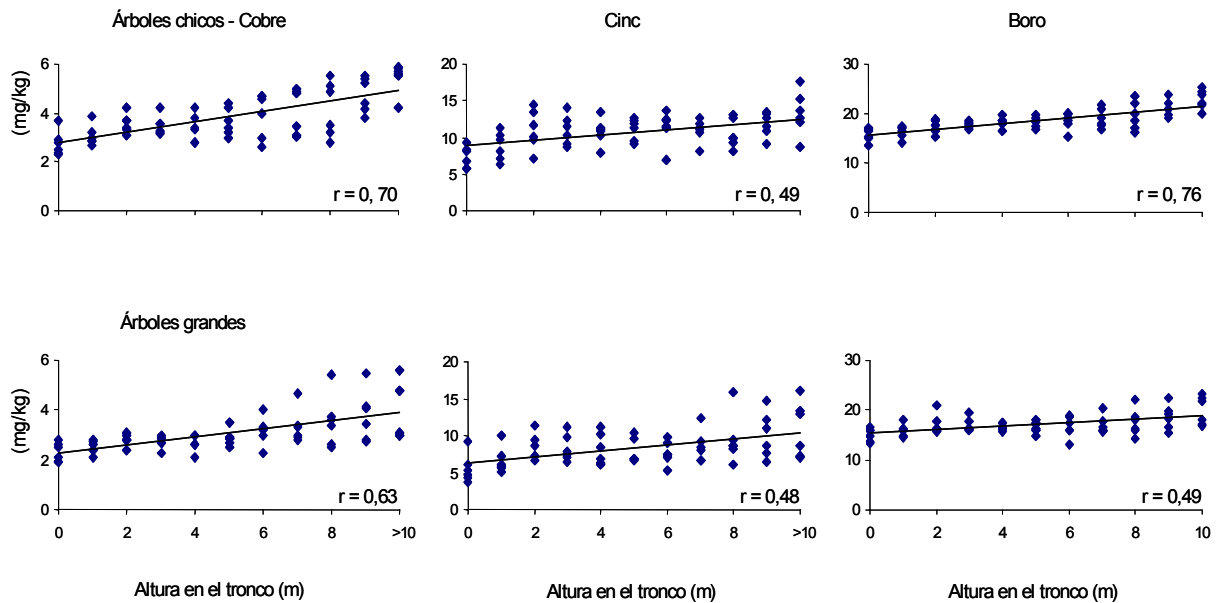


Figura 4. Variación de los contenidos de cobre, cinc y boro (mg/kg) en la corteza según altura en el tronco, para los seis tratamientos.

Al igual que en la madera, en la corteza del tronco, cobre tiene una marcada tendencia a aumentar en contenido a medida que asciende en altura, lo mismo que boro, quien no presentaba igual comportamiento en la madera.

4.2 Caracterización de las cantidades de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea del rodal

Los tres elementos se encuentran en mayores cantidades en los tratamientos con fertilización postplantación (cuadro 18 y anexo 7: cuadros 34, 35 y 36). Al igual que los contenidos, las cantidades de boro son superiores a las de cinc, y éstas últimas a las de cobre. Destacan los valores totales de boro, que sobrepasan un kilogramo por hectárea en los tratamientos con fertilización postplantación.

En los componentes hoja, madera y corteza, los tratamientos con fertilización postplantación presentaron mayores cantidades ($p < 0,05$) del elemento que los sin fertilización; no así en ramas y ramas muertas.

Las mayores cantidades de cobre en la copa se obtuvieron en el tratamiento T1, no así en el tronco, donde las mayores cantidades del elemento resultaron en el tratamiento R1. Sin embargo, observando las cantidades totales, son los árboles del tratamiento T1 los que poseen mayores cantidades del elemento.

En cinc no ocurre lo mismo, la mayor cantidad de este elemento se encuentra en los árboles del tratamiento R1, y en boro, se encuentran en el tratamiento B1.

Cuadro 18. Distribución de cobre, cinc y boro (g/ha) en la biomasa aérea, según tratamiento y componente.

| Elem. | Trat. | Hojas | | Ramas | | R. muertas | | Total copa | | Madera | | Corteza | | Total tronco | | Total (g/ha) |
|-------|-------|--------|-----|--------|-----|------------|-----|------------|-----|--------|-----|---------|-----|--------------|-----|--------------|
| | | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | (g/ha) | (%) | |
| Cobre | B0 | 50 | 24 | 42 | 20 | 21 | 10 | 113 | 54 | 76 | 36 | 19 | 9 | 95 | 46 | 208 |
| | B1 | 63 | 29 | 42 | 19 | 18 | 8 | 123 | 56 | 72 | 33 | 24 | 11 | 95 | 44 | 219 |
| | R0 | 47 | 25 | 64 | 34 | 11 | 6 | 123 | 65 | 47 | 25 | 19 | 10 | 66 | 35 | 189 |
| | R1 | 58 | 18 | 59 | 18 | 12 | 4 | 129 | 40 | 171 | 53 | 23 | 7 | 195 | 60 | 324 |
| | T0 | 59 | 20 | 66 | 23 | 22 | 8 | 147 | 51 | 119 | 41 | 25 | 8 | 143 | 49 | 290 |
| | T1 | 74 | 21 | 65 | 19 | 20 | 6 | 159 | 45 | 163 | 47 | 28 | 8 | 191 | 55 | 350 |
| Cinc | B0 | 163 | 33 | 126 | 26 | 26 | 5 | 315 | 64 | 131 | 27 | 46 | 9 | 177 | 36 | 492 |
| | B1 | 214 | 32 | 179 | 27 | 53 | 8 | 446 | 67 | 160 | 24 | 61 | 9 | 221 | 33 | 666 |
| | R0 | 168 | 37 | 116 | 25 | 17 | 4 | 301 | 65 | 111 | 24 | 49 | 11 | 160 | 35 | 461 |
| | R1 | 190 | 25 | 197 | 26 | 46 | 6 | 434 | 56 | 255 | 33 | 83 | 11 | 339 | 44 | 772 |
| | T0 | 183 | 30 | 165 | 27 | 62 | 10 | 409 | 67 | 146 | 24 | 53 | 9 | 199 | 33 | 608 |
| | T1 | 236 | 32 | 198 | 27 | 56 | 8 | 490 | 67 | 157 | 21 | 86 | 12 | 243 | 33 | 733 |
| Boro | B0 | 282 | 42 | 65 | 10 | 34 | 5 | 381 | 56 | 184 | 27 | 111 | 16 | 295 | 44 | 676 |
| | B1 | 445 | 33 | 85 | 6 | 36 | 3 | 566 | 43 | 608 | 46 | 154 | 12 | 763 | 57 | 1329 |
| | R0 | 295 | 37 | 88 | 11 | 16 | 2 | 399 | 50 | 291 | 36 | 110 | 14 | 401 | 50 | 800 |
| | R1 | 431 | 41 | 138 | 13 | 33 | 3 | 602 | 57 | 321 | 30 | 134 | 13 | 455 | 43 | 1057 |
| | T0 | 371 | 38 | 157 | 16 | 32 | 3 | 559 | 58 | 269 | 28 | 135 | 14 | 404 | 42 | 964 |
| | T1 | 485 | 39 | 147 | 12 | 41 | 3 | 674 | 55 | 405 | 33 | 157 | 13 | 562 | 45 | 1236 |

De acuerdo con las cantidades de sulfato de cobre, sulfato de cinc y boronatrocalcita aplicados por hectárea (cuadro 6) y el contenido de cobre, cinc y boro en cada fertilizante, las cantidades aplicadas efectivamente a la plantación fueron: 1,25 kg/ha de cobre, 1,15 kg/ha de cinc y 4,8 kg/ha de boro respectivamente. De los 1,25 kg/ha de cobre, aproximadamente un 28% está presente en la biomasa aérea de los árboles muestreados, 64% de cinc y 28% de boro respectivamente.

Comparando entre copa y tronco, los tres micronutrientes se acumulan en mayor porcentaje en la copa y, dentro de este componente, en las hojas. Las cantidades disminuyen hacia las ramas y más aún hacia las ramas muertas. En el tronco, el tejido que posee las mayores cantidades de cobre, cinc y boro es la madera. Un porcentaje similar de cobre y cinc se distribuye en las ramas muertas y la corteza, no así boro, donde la corteza acumula cantidades visiblemente superiores a las ramas muertas (cuadro 18 y figura 5).

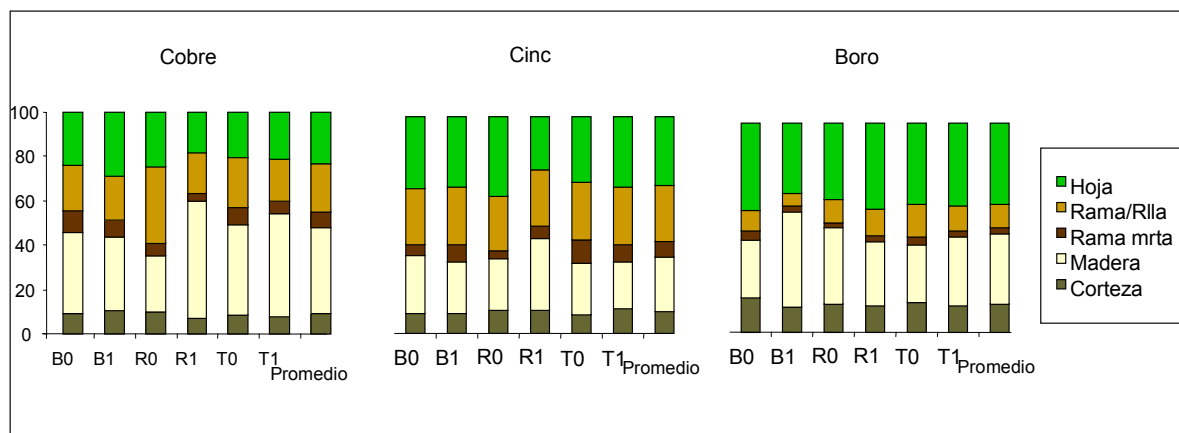


Figura 5. Participación (%) de las cantidades de cada elemento en la biomasa aérea total según componente y tratamiento de fertilización.

La proporción de boro en las hojas (figura 5), con respecto a los otros componentes de la biomasa aérea, es superior que la proporción de cinc y esta última que la de cobre. No así en la madera, donde la proporción de cobre es claramente superior que el porcentaje de cinc y boro en el mismo componente. Existen claras diferencias en También se aprecian las diferencias entre cinc y boro en los componentes rama y rama muerta. La proporción de cinc en estos componentes es claramente superior a boro.

5. DISCUSIÓN

5.1 Disponibilidad de cobre, cinc y boro en el suelo

La oferta de cobre (anexo 2: cuadro 1) desde el suelo, se encontraba dentro de los niveles normales al momento de la plantación. De acuerdo con Shoji *et al.* (1993), el contenido de cobre en Andisoles se ubica entre 3 y 141 mg/kg, lo que sugeriría que si se presentase algún síntoma de deficiencia en los árboles no debería ser atribuida a la escasez de este nutriente. Además, Rodríguez *et al.* (2001) consideran a este nutriente dentro de aquellos cuya deficiencia en los suelos del país es improbable y establecen un nivel crítico de cobre, para distintos grupos de suelos en Chile, de 0,5 mg/kg.

Según Shoji *et al.* (1993), el contenido de cinc en el suelo debería ubicarse entre 60 y 100 mg/kg en contraposición a lo indicado por Rodríguez *et al.* (2001) que establecen un rango de nivel crítico de cinc entre 0,5 y 1,0 mg/kg, y Mengel y Kirkby (1982) de 10 a 300 mg/kg. Los valores de referencia para este trabajo correspondieron a los recomendados por Rodríguez *et al.* (2001), ya que las técnicas analíticas utilizadas equivalen a las aplicadas por el Proyecto. De esta forma, aquella zona del perfil en la que se ubican las raíces de los árboles, estaría suministrando adecuados contenidos del micronutriente (anexo 2: cuadro 1).

Con respecto al boro, Krarup (2003) menciona que el rango de los niveles críticos del elemento se encontraría entre 0,1 y 1,0 mg/kg en el suelo. Rodríguez *et al.* (2001) presentan un nivel crítico inferior diferente y el rango que ellos establecen se sitúa entre 0,5 y 1 mg/kg. El análisis del perfil indicaría entonces, que al momento de la plantación los contenidos de boro en los primeros 20 cm del suelo estaban cercanos al nivel crítico superior, lo que no representaría una limitante para el crecimiento de los individuos (anexo 2: cuadro 1).

Es conocida la influencia que ejerce el pH en la disponibilidad de cobre, cinc y boro. De acuerdo con SAP – UChile (2004) la disponibilidad de cobre y cinc disminuye a un pH superior a 5,5 y la disponibilidad de boro disminuye a un pH inferior a 5,0 y superior a 7,0 (González, 1982; Schlatter y Gerding, 1985b; Krarup, 2003). Por lo tanto, este factor no estaría afectando la disponibilidad de los micronutrientes en el área de estudio. Aún así, el régimen de elementos nutritivos es pobre ya que la suma de bases en los primeros 20 cm del perfil es de 3,4 cmol+/kg. De acuerdo con Cubero (2001), la suma de bases debería ser superior a 5 cmol+/kg y la saturación de acidez inferior a 50%, en este ensayo, la saturación de aluminio es alta (35%) dentro del rango.

Las propiedades físicas del suelo son adecuadas para el establecimiento de la plantación y no representan una limitante al desarrollo de las raíces (Belmar, 2003).

5.2 Contenidos, movilidad y variabilidad de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea

5.2.1 Contenidos

En general, comparando los contenidos de cobre para el total de la biomasa aérea (figura 2) con el rango de contenidos presentado por Honorato y Silva (1999) y Shoji *et al.* (1993), se puede mencionar que éstos resultaron dentro de los límites satisfactorios pero cercanos al límite inferior, ya que no sobrepasaron los 8 mg/kg. Por otra parte, los contenidos de cinc para el total de la biomasa aérea también se ubicaron cercanos al umbral crítico mínimo en que este elemento se podría encontrar en un tejido vegetal (INFOR – CORFO, 2004; Shoji *et al.*, 1993) al no sobrepasar los 20 mg/kg (figura 2).

Aún así, son conocidas las diferencias existentes entre los contenidos de cada microelemento según el componente de la biomasa aérea. Los tejidos más activos, como las hojas, presentan generalmente un mayor contenido de nutrientes que tejidos de sostén, como la madera (Schlatter, 1986). Incluso, existen variaciones en el contenido de nutrientes dentro de un mismo componente como en el caso del follaje (Madgwick *et al.*, 1981; Muñoz, 2002; Aparicio, 2001). Es así como para cobre, cinc y boro, el componente que presentó mayores contenidos fueron las hojas (figura 2), y el que presentó menores contenidos fue la madera.

Sin embargo, los contenidos de cobre y cinc en hojas y ramillas se ubicaron en rangos similares, pero no es el caso de boro, donde el gradiente es notorio y los contenidos aumentan en los tejidos fotosintéticamente activos.

En los tejidos leñosos más viejos (ramas, ramas muertas, corteza y madera), los contenidos de cobre y boro son inferiores con respecto a las hojas, no así cinc, cuyos contenidos son más homogéneos, a excepción de la madera (figura 2).

De acuerdo con la clasificación propuesta por Schlatter y Gerding (1985b) y Lambert *et al.* (1997), los contenidos de boro foliar resultaron satisfactorios, es decir, hay un buen abastecimiento de boro desde el suelo y la plantación no tendría inconvenientes para absorber el nutriente.

5.2.2 Movilidad

En las hojas, los contenidos de cobre y cinc en su mayoría, tendían a aumentar a medida que se ascendía en la copa, lo que estaría demostrando que el nutriente se desplaza hacia los tejidos más jóvenes de la planta. No así boro que, en este componente, disminuía en el mismo sentido, demostrando su característica inmovilidad.

De acuerdo con lo mencionado por González (1982) y Rodríguez *et al.* (2001), el boro es movilizado principalmente vía xilemática. Este comportamiento es observado en los individuos muestreados ya que los contenidos aumentaron hacia las partes

superiores de la planta (figura 2), con excepción de las hojas, y presentaron el siguiente gradiente: Hoja juvenil> Hoja Adulta> Corteza> Ramilla> Rama> Rama muerta> Madera.

5.2.3 Variabilidad

El componente de la biomasa aérea que presentó la mayor variabilidad fueron las ramas con valores de coeficiente de variación cercanos a 40%, los que se presentaron con mayor frecuencia en los tratamientos B0 y B1. Cabe mencionar que en los componentes rama y ramilla están representados los valores de dos grupos de árboles o estratos de crecimiento (árboles chicos y árboles grandes) por lo tanto, la probabilidad de encontrar mayor variabilidad es superior a los otros componentes ya que hay menos repeticiones. Las hojas, por el contrario, presentaron coeficientes de variación más uniformes que se ubicaron, en su mayoría, entre 10 y 20%.

Comparando entre tratamientos sin y con fertilización postplantación (cuadros 16 y 17), la mayor frecuencia de coeficientes de variación superiores al 10% se encuentra en aquellos sin fertilización postplantación, y en éstos, el nutriente que presentó mayor variabilidad fue cobre, que en todos los componentes posee al menos un coeficiente de variación por sobre el 20%.

5.3 Cantidades de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea

Si bien la aplicación de tratamientos de fertilización pre y postplantación produjo pocos efectos estadísticamente significativos en las cantidades de cobre, cinc y boro presentes en los componentes de la biomasa aérea, sí pudo observarse un mayor crecimiento en biomasa y por consiguiente, un incremento en las cantidades de cada microelemento en los diferentes componentes, principalmente en hojas y corteza. Esto concuerda con lo observado por Bonomelli y Suarez (1999b) con respecto a que a una mayor producción de biomasa se requieren más nutrientes y mayor será su acumulación en los componentes cuando el suelo presenta un suministro suficiente. Es así como para el caso de cobre, se acumuló aproximadamente un 30% más del elemento en la biomasa aérea total; cinc aumentó en cantidad en un 39% y boro en un 48% aproximadamente (cuadro 18).

El tratamiento que produjo una mayor acumulación de los elementos en los tejidos de la biomasa aérea fue el tratamiento T1 (cuadro 6) que aportó con mayor cantidad de nutrientes luego del establecimiento de la plantación.

Las cantidades de cobre, cinc y boro se encuentran en proporción a la biomasa de los componentes, excepto en la madera donde sus bajos contenidos produjeron una disminución en la cantidad en que cada elemento se acumula en ella (figura 5). Aún así, los micronutrientes aplicados están incorporados a la biomasa y participan del reciclaje y redistribución dentro de la planta. Un ejemplo de esto es el porcentaje de del elemento que se encuentra en los tejidos de los individuos. De acuerdo con las cantidades de sulfato de cobre, sulfato de cinc y boronatrocalcita aplicados por

hectárea (cuadro 6) y el contenido de cobre, cinc y boro en cada fertilizante, las cantidades aplicadas efectivamente a la plantación fueron: 1,25 kg/ha de cobre, 1,15 kg/ha de cinc y 4,8 kg/ha de boro respectivamente. De los 1,25 kg/ha de cobre, aproximadamente un 28% está presente en la biomasa aérea de los árboles muestreados, 64% de cinc y 28% de boro respectivamente.

6. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas y químicas del suelo no son limitantes para desarrollo de las raíces y de los árboles en general. Este factor, sumado a que los contenidos de cobre, cinc y boro en el suelo se encuentran dentro de niveles normales para abastecer adecuadamente a la plantación, permiten concluir que la absorción y movilización de los elementos en los componentes de la biomasa aérea debería ser normal.
- En los tejidos, los contenidos de cobre, cinc y boro se encontraron dentro de los rangos normales establecidos por la literatura lo que demostraría que las plantaciones no tienen problemas de abastecimiento de estos elementos.
- Los contenidos de cobre, cinc y boro en los tejidos variaron en forma independiente de la clase diamétrica de los árboles.
- Cobre y cinc se comportaron como elementos móviles en la planta, ya que sus contenidos disminuyeron en los tejidos más antiguos de la copa. Boro, en cambio, mostró su inmovilidad característica.
- El componente que presentó los menores contenidos de cobre, cinc y boro fue la madera. Los mayores contenidos se ubicaron en las hojas.
- El componente de la biomasa aérea que presentó la mayor variabilidad fueron las ramas con valores cercanos de coeficiente de variación de 40%. Las hojas, por el contrario, presentaron coeficientes de variación más uniformes que se ubicaron, en su mayoría, entre 10 y 20%.
- La fertilización completa (N, P) produjo pocos efectos significativos en la acumulación de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea, aunque sí se observó una tendencia del incremento en la cantidad.
- Las mayores cantidades de cobre, cinc y boro de la biomasa aérea, se presentaron en las hojas y en la madera.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera S., M.; I. Pino U.; C. Reyes de la P. y M. Caiozzi M. 1992. Efecto de la materia orgánica en la disponibilidad de fósforo, hierro, cobre y cinc en suelo Osorno. *Agricultura Técnica (Chile)* 52(4): 422-425
- Althoff, P.; A. C. Oliveira; E. J. Morais; S. Fonseca. 1991. Eucalypt dieback in "Cerrado" areas north-northwest of Minas Gerais. *In: Schönau, A. P. G. Intensive Forestry: The role of eucalypts.* Pretoria, Instituto Forestal Sudafricano. pp. 598-609
- Andrade, S. C.; N. F. De Barros; R. F. De Novais; J. L. Teixeira; P. G. L. Leal. 1995. Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. *Bosque (Chile)* 16(1): 53-59
- Aparicio, J.L. 2001. Rendimiento y biomasa de *Eucalyptus nitens* con alternativas nutricionales para una silvicultura sustentable en un suelo rojo arcilloso. Tesis Mag. Cs. Mención Silvicultura. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 169 p.
- Baeza, N. 1998. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos rojo arcillosos de la Décima región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 88 p.
- Belmar Z., L. E. 2003. Nitrógeno y calcio en la biomasa aérea de plantaciones de cinco años de *Eucalyptus nitens* con distintas fertilizaciones (comuna de Fresia, X Región). Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 31 p.
- Besoain, E. 1985. Los Suelos. *In: Tosso, J. (ed). Suelos volcánicos de Chile.* Santiago, INIA. pp. 25-106
- Binkley, P. 1993. *Nutrición Forestal; Prácticas de Manejo.* México, Limusa. 340 p.
- Bonomelli de P., C. y D. Suarez F. 1999a. Fertilización del Eucalipto, 1. Efecto sobre la acumulación de biomasa. *Ciencia e Investigación Agraria* 26(1): 1-10
- Bonomelli de P., C. y D. Suarez F. 1999b. Fertilización del Eucalipto, 2. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio. *Ciencia e Investigación Agraria* 26(1): 11-19
- Cancino C., J.; F. Drake A.; P. Cartagena R. 1999. Efecto de la distancia de fertilización sobre el crecimiento inicial de *Eucalyptus nitens* Maiden. *Agro-Ciencia* 15(2): 263-269

- Correa M., G. I. 1991. Distribución de los elementos nutritivos en el follaje de *Eucalyptus regnans* F. Muell. Y *Eucalyptus delegatensis* R. T. Baker en un sitio de la provincia de Valdivia. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 63 p.
- Cubero, D.A. 2001. Clave de Bolsillo para Determinar la Capacidad de Uso de las Tierras. INTERNET: <http://www.ecaf.org/documents/cubero1.pdf> (Diciembre 15, 2004)
- Centro de Información de Recursos Naturales (Chile). 1999. Estudio Agrológico de la Provincia de Osorno, X Región. Santiago, CIREN. 131 p.
- Donoso, C. 1992. Ecología forestal; el bosque y su medio ambiente. 3 ed. Santiago (Chile), Universitaria. 369 p.
- Frederick, D.; H. Madgwick; M. Jurgensen y G. Oliver. 1985. Dry matter content and nutrient distribution in an age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 15(2): 158-179
- Freund, J. E.; Miller, I. y M. Miller. 2000. Estadística matemática con aplicaciones. Trad. por Rosendo J. Sánchez P. 6 ed. México, Pearson Educación. 624 p.
- Garcinuño O., J.L. 1995. Biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus globulus* (Lab.) en la costa de Valdivia, Décima Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 76 p.
- Gerding, V.; J. E. Schlatter; J. L. Aparicio y R. Grez. 2001a. Rendimiento de *Eucalyptus nitens* con distintos manejos nutritivos en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. *In: Actas Simposio Internacional IUFRO "Desarrollando el eucalipto del futuro"*, Valdivia (Chile). p. 60
- Gerding, V.; J. E. Schlatter; J. L. Aparicio y R. Grez. 2001b. Dinámica de elementos nutritivos en la biomasa de *Eucalyptus nitens* al cuarto año de crecimiento, en un suelo rojo arcilloso del sur de Chile. *In: Actas Simposio Internacional IUFRO "Desarrollando el eucalipto del futuro"*, Valdivia (Chile). p. 43
- Gerding, V.; J. E. Schlatter; C. Saavedra. 2002. Biomasa de raíces de *Eucalyptus nitens* de 5 años en un suelo rojo arcilloso con fertilización, comuna de Fresia, X Región. *In: I Congreso Chileno de Ciencias Forestales*. Santiago (Chile). p. 8
- Gerding, V.; O. Puentes; J. E. Schlatter; P. González. 1985. Fertilización con boronatrocalcita en plantaciones jóvenes de *Pinus radiata* en suelos graníticos. *Bosque (Chile)* 6(2): 100-112
- González E., P.A. 1982. Respuesta de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don a la fertilización con boro, en la provincia de Malleco, IX Región. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 55 p.

- Herbert, M. A. 1996. Fertilizers and Eucalypt Plantations in South Africa. *In*: Attiwill, P. M. y M. A. Adams (eds.). Nutrition of Eucalypts. Australia, CSIRO. pp. 303-325
- Honorato, R. y H. Silva. 1999. Evaluación de la Contaminación del Suelo y Plantas por el Cobre. *Aconex* 62: 5-9
- Instituto de Investigación de Recursos Naturales (Chile) - Corporación de Fomento Fabril (Chile) – Universidad Austral de Chile (Chile). 1978. Estudio de Suelos de la provincia de Valdivia. Santiago, IREN. 178 p.
- Instituto Forestal (Chile). 2003. Estadísticas Forestales 2002. Santiago, INFOR. 149 p. (Boletín Estadístico, 88)
- Instituto Forestal (Chile) - Corporación de Fomento Fabril (Chile). 2003. Sistema de Gestión Forestal; *Eucalyptus nitens* (Eucalipto nitens). INTERNET: <http://www.gestionforestal.cl/pt-02/plantaciones/menumap19-2.htm> (Octubre 9, 2003)
- Instituto Forestal (Chile) - Corporación de Fomento Fabril. 2004. *Eucalyptus nitens* en Chile: Primera Monografía. Valdivia, INFOR - CORFO. 143 p. (Informe Técnico, 165)
- Katyal, J.C.; Randhawa, N.S. 1986. Micronutrientes. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 93 p. (Boletín FAO; Fertilizantes y Nutrición Vegetal, 7)
- Krarup, A. 2003. Respuesta de Chalota (*Allium cepa* var *aggregatum* G. Don) a aplicaciones de cal y boronatrocalcita en un Andisol ácido. *Agro Sur* 31: 1-7
- Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta – Universidad de Chile (Chile). 2004. Propiedades Químicas de los Suelos. INTERNET: http://www.sap.uchile.cl/docencia_frset.html (Diciembre 15, 2004)
- Lambert, M. J.; J. Turner; J. Knott. 1997. Boron nutrition of radiata pine plantations in Australia. *In*: Bell, R. W. y B. Rerkasem (eds.). Boron in Soils and Plants. Países Bajos, Kluwer Academic Publishers. pp. 83-88
- Leonelli C., M. R. 1998. Características y variabilidad de sitios con plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en suelos arcillosos de la Provincia de Malleco. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 73 p.
- Madgwick, H.; P. Beets y S. Gallagher. 1981. Dry matter accumulation, nutrient and energy content of above ground portion of 4-year-old stands of *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus fastigata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 11(1): 53-59

- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. San Diego, Academic Press. 889 p.
- McKimm, R. J. y D. W. Flinn. 1979. Eucalypt species, site preparation and fertilizer requirements for reforestation of the Toorong Plateau in Central Victoria. Australian Forest Research 42(2): 117-124
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. 1982. Principles of Plant Nutrition. 3 ed. Berna, International Potash Institute. 655 p.
- Muñoz L., F. A. 2002. Balance nutritivo de una plantación de *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden de 7 años de edad en suelos ñadi. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 108 p.
- Prado, J. A. y J. A. Toro V. 1996. Silviculture of Eucalypt Plantations in Chile. In: Attiwill, P. M. y M. A. Adams (eds.). Nutrition of Eucalypts. Australia, CSIRO. pp. 357-369
- Prado, J. A. y S. Barros. 1989. *Eucalyptus*; Principios de silvicultura y manejo. Santiago, INFOR - CORFO. 199 p.
- Rodríguez S., J.; D. Pinochet T.; F. Matus B. 2001. Fertilización de los Cultivos. Santiago, LOM Ediciones. 117 p.
- Rojas P., Y. V. 1997. Características y variabilidad de sitios con *Pinus radiata* D. Don en suelos de cenizas volcánicas de la Novena y Décima Regiones. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 85 p.
- Satoo, T y H. A. I. Madgwick. 1982. Forest Biomass. Forestry Sciences. London, Martinus Nijhoff. 152 p.
- Schalscha B., E.; R. Riquelme G.; G. Vergara H.; I. Vergara S. 1968. Elementos trazas en suelos derivados de cenizas volcánicas; I. "Disponibilidad" de cinc, cobre, hierro y manganeso. Estudio comparativo de diversos métodos de extracción. Agricultura Técnica (Chile) 28(4): 137-143
- Schenkel S., G. y P. Baherle V. 1982. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas. I. Antecedentes. Agricultura Técnica (Chile) 45(2): 105-114
- Schenkel S., G.; P. Baherle V. y M. Gajardo M. 1985. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXV. Influencia de la pureza de NPKCaS en muestras de Cautín. I Parte. Agricultura Técnica (Chile) 45(3): 259-266
- Schlatter, J. 1986. Dinámica del crecimiento de la biomasa. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Instituto de Silvicultura. 10 p.

- Schlatter, J. E. y V. Gerding. 1985a. Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. En Chile, I Distribución y Origen. Bosque (Chile) 6(1): 24-31
- Schlatter, J. E. y V. Gerding. 1985b. Deficiencia de boro en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don. En Chile, II Principales Causas y Corrección. Bosque (Chile) 6(1): 32-43
- Schlatter, J. E.; V. Gerding; H. Huber. 1995. Sistema de ordenamiento de la tierra; Herramientas para la planificación forestal; aplicado a la X Región. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 93 p. (Serie Técnica Facultad de Ciencias Forestales)
- Shoji, S.; M. Nancyo; R. A. Dahlgren. 1993. Volcanic Ash Soils: Genesis, Properties and Utilization. Países Bajos, Elsevier Science Publishers B.V. 288 p.
- Sokal, R. y J. Rohlf. 1979. Biometría. Principios y Métodos Estadísticos en la Investigación Biológica. Trad. por Miguel Lahoz. Madrid, Blume Ediciones. 775 p.
- Tosso T., J. (ed.). 1985. Suelos volcánicos de Chile. Santiago, INIA. 723 p.

ANEXOS

Anexo 1

Abstract and keywords

ABSTRACT AND KEYWORDS

To determine the effects of different fertilization treatments, and to quantify and characterize the contents and quantities of 3 microelements in the components of the above ground biomass, an *Eucalyptus nitens* (Dean et Maiden) Maiden plantation was analysed 5 years after planting.

The methodology was carried out with material extracted from a stand without fertilizing and two experimental areas fertilized with phosphorus of low solubility. In each stand, five diameter ranges were determined from the DMC \pm 1 and 2 standard deviation. According to the methodology, the crowns were divided into thirds: lower, medium and upper, and the stem in heights: 0, 2, 4, 6, 8, \geq 10 m.

The tissue contents of copper, zinc and boron were independent from the diametric range. Copper and zinc behaved as mobile elements, since their contents diminished in the oldest leaves. Boron, on the other hand, showed its characteristic immobility. The smaller contents of copper, zinc and boron were located in the wood while, the greatest were located in the leaves.

The fertilization treatments produced a few statistically significant effects in the accumulation of copper, zinc and boron. The greater quantities of the three elements were presented in the leaves and the wood.

Keywords: copper; zinc; boron; *Eucalyptus nitens*; above ground biomass.

Anexo 2

Ubicación geográfica del ensayo.

Análisis de suelo al inicio de la plantación - año 1996 (Aparicio, 2001).



Figura 1. Ubicación geográfica del predio Pichimaule ($41^{\circ}01'$ y $73^{\circ}27'$ O).

Cuadro 1. Resultados analíticos expresados en relación peso/peso.

| Prof. (cm) | pH H ₂ O | pH KCl | Ct (%) | Nt (%) | C/N | P | Al | Na | K | Ca | Mg | Fe | Mn | Cu | Zn | B | S | Al |
|---------------|------------------------|-----------|---------------|-----------|------|-------|------------------------------------|----|-----|-----|-----|------------------------------------|----|-----|-----|-----|-------|-----|
| | | | | | | Olsen | Acetato de Amonio pH 4,8 - DTPA | | | | | Acetato de Amonio pH 4,8 - DTPA | | | | | KCl | |
| | | | | | | mg/kg | mg/kg | | | | | mg/kg | | | | | mg/kg | |
| 0 - 20 | 5,10 | 4,13 | 7,2 | 0,42 | 17,1 | 2 | 1249 | 54 | 152 | 254 | 181 | 155 | 96 | 5,5 | 1,4 | 0,8 | -- | 168 |
| 20 - 60 | 4,60 | 4,14 | 2,6 | 0,12 | 21,7 | 4 | 1005 | 63 | 14 | 108 | 69 | 103 | 4 | 4,5 | 0,1 | 0,4 | -- | 189 |
| 60 - 100 | 5,05 | 4,25 | 1,5 | 0,09 | 16,7 | 4 | 637 | 79 | 9 | 195 | 142 | 49 | 21 | 4,9 | 0,1 | 0,4 | -- | 85 |

Cuadro 2. Resultados analíticos expresados en miliequivalentes.

| Profundidad (cm) | Na | K | Ca | Mg | Suma de bases | Al | Saturación Al (%) |
|---------------------|---------------------------------|------|------|------|------------------|------|-------------------------|
| | Acetato de Amonio pH 4,8 - DTPA | | | | | | |
| | meq/100g | | | | | | |
| 0 - 20 | 0,23 | 0,39 | 1,27 | 1,49 | 3,38 | 1,87 | 35 |
| 20 - 60 | 0,27 | 0,04 | 0,54 | 0,57 | 1,42 | 2,10 | 59 |
| 60 - 100 | 0,34 | 0,02 | 0,98 | 1,17 | 2,51 | 0,94 | 27 |

Anexo 3

Información complementaria al diseño de investigación.

Disgregación del árbol en sus componentes para la obtención de muestras y determinación del contenido de humedad y peso seco.

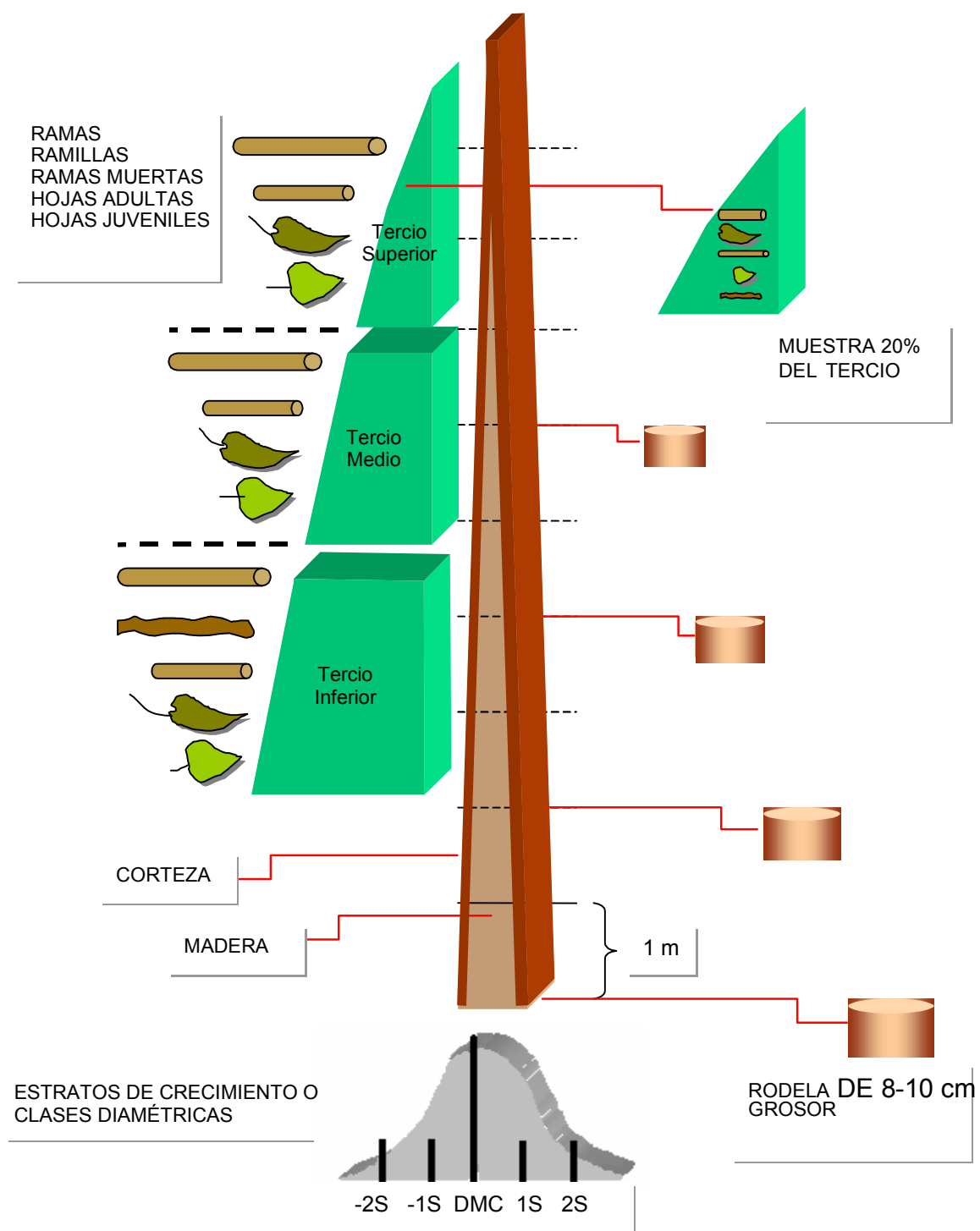


Figura 2. Disgregación del árbol de acuerdo con la metodología de terreno.

Anexo 4

Resultados parciales.

Contenidos de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea.

Cuadro 3. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 1 (B0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 6,6 | 4,9 | 5,8 | 5,6 | 5,2 | 16,6 | 21,3 | 20,8 | 18,7 | 17,1 | 19,8 | 26,8 | 24,3 | 20,5 | 21,5 |
| | Medio | 5,4 | 5,1 | 5,8 | 4,9 | 4,4 | 15,2 | 18,2 | 17,1 | 16,3 | 13,8 | 24,7 | 24,0 | 24,1 | 24,7 | 20,3 |
| | Inferior | 5,4 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 14,5 | 18,0 | 16,6 | 14,2 | 11,9 | 34,1 | 33,6 | 31,3 | 33,9 | 23,8 |
| Hoja juvenil | Inferior | 5,4 | 4,0 | 4,4 | 3,7 | 3,1 | 13,8 | 15,0 | 18,4 | 14,0 | 12,2 | 46,4 | 41,5 | 42,9 | 43,9 | 26,2 |
| Rama > 1 cm | Superior | - | - | 2,8 | 2,8 | 2,8 | - | - | 11,1 | 11,1 | 11,1 | - | - | 6,2 | 6,2 | 6,2 |
| | Medio | 4,4 | 4,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 18,8 | 18,8 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 9,5 | 9,5 | 4,8 | 4,8 | 4,8 |
| | Inferior | 5,0 | 5,0 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 15,9 | 15,9 | 13,1 | 13,1 | 13,1 | 7,8 | 7,8 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Ramilla | Superior | 4,9 | 4,9 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 15,7 | 15,7 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 13,0 | 13,0 | 13,6 | 13,6 | 13,6 |
| | Medio | 4,4 | 4,4 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 15,5 | 15,5 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 10,9 | 10,9 | 11,2 | 11,2 | 11,2 |
| | Inferior | 5,6 | 5,6 | 5,9 | 5,9 | 5,9 | 13,7 | 13,7 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 9,5 | 9,5 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| Rama muerta | Inferior | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 8,1 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 |

Cuadro 4. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 4 (B1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 4,4 | 6,1 | 5,4 | 4,2 | 4,9 | 15,7 | 21,3 | 20,3 | 16,1 | 17,1 | 25,4 | 18,7 | 23,8 | 24,0 | 25,4 |
| | Medio | 4,5 | 4,9 | 4,5 | 4,5 | 4,4 | 11,7 | 14,9 | 17,5 | 13,6 | 15,9 | 27,8 | 26,6 | 31,1 | 26,1 | 22,4 |
| | Inferior | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,2 | 4,5 | 11,0 | 12,1 | 16,4 | 11,5 | 14,5 | 35,5 | 40,6 | 38,8 | 34,6 | 33,6 |
| Hoja juvenil | Medio | - | 3,3 | - | - | - | - | 13,7 | - | - | - | - | 28,4 | - | - | - |
| | Inferior | 3,7 | 3,3 | - | - | - | 10,1 | 11,7 | - | - | - | 41,3 | 44,8 | - | - | - |
| Rama > 1 cm | Superior | 3,5 | 3,5 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 22,8 | 22,8 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 10,2 | 10,2 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| | Medio | 3,7 | 3,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 12,8 | 12,8 | 14,1 | 14,1 | 14,1 | 5,3 | 5,3 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| | Inferior | 4,3 | 4,3 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 10,1 | 10,1 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 4,8 | 4,8 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| Ramilla | Superior | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 16,3 | 16,3 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 12,8 | 12,8 | 12,6 | 12,6 | 12,6 |
| | Medio | 3,1 | 3,1 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 12,2 | 12,2 | 12,7 | 12,7 | 12,7 | 9,8 | 9,8 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | Inferior | 4,3 | 4,3 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 11,9 | 11,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 8,8 | 8,8 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Rama muerta | Inferior | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |

Cuadro 5. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 5 (R0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 7,5 | 5,4 | 3,8 | 4,0 | 5,6 | 17,7 | 17,0 | 15,9 | 15,0 | 14,9 | 22,9 | 21,0 | 23,3 | 18,5 | 20,6 |
| | Medio | 4,9 | 3,5 | 3,7 | 3,7 | 4,7 | 13,3 | 15,9 | 13,1 | 13,6 | 14,3 | 21,9 | 23,3 | 20,3 | 21,2 | 21,7 |
| | Inferior | 4,4 | 4,0 | 3,8 | 3,8 | 4,4 | 13,1 | 15,9 | 13,6 | 13,1 | 14,5 | 38,0 | 25,7 | 28,2 | 26,2 | 26,8 |
| Hoja juvenil | Medio | 4,4 | - | - | - | - | 9,3 | - | - | - | - | 22,6 | - | - | - | - |
| | Inferior | 4,4 | 2,6 | 3,0 | 2,6 | 4,0 | 12,9 | 14,7 | 11,0 | 9,6 | 12,0 | 38,0 | 38,7 | 32,2 | 34,8 | 29,9 |
| Rama > 1 cm | Superior | 3,6 | 3,6 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 18,0 | 18,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 6,4 | 6,4 | 8,2 | 8,2 | 8,2 |
| | Medio | 2,6 | 2,6 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 16,7 | 16,7 | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 5,1 | 5,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 |
| | Inferior | 5,7 | 5,7 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 12,4 | 12,4 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| Ramilla | Superior | 4,3 | 4,3 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 11,5 | 11,5 | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 10,4 | 10,4 | 15,3 | 15,3 | 15,3 |
| | Medio | 3,9 | 3,9 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 13,1 | 13,1 | 10,6 | 10,6 | 10,6 | 10,4 | 10,4 | 12,9 | 12,9 | 12,9 |
| | Inferior | 5,1 | 5,1 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 13,6 | 13,6 | 9,7 | 9,7 | 9,7 | 7,8 | 7,8 | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| Rama muerta | Inferior | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 6,2 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 | 5,8 |

Cuadro 6. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 8 (R1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 5,2 | 4,9 | 5,6 | 5,9 | 6,1 | 18,4 | 16,6 | 16,3 | 19,1 | 21,2 | 17,1 | 22,6 | 19,1 | 21,7 | 29,2 |
| | Medio | 4,5 | 5,1 | 4,4 | 4,5 | 4,4 | 15,2 | 16,3 | 13,1 | 14,7 | 15,9 | 21,7 | 35,2 | 29,9 | 21,9 | 30,4 |
| | Inferior | 3,8 | 4,0 | 4,2 | 4,0 | 4,9 | 14,0 | 13,6 | 13,5 | 13,3 | 15,6 | 31,3 | 42,7 | 38,3 | 28,7 | 31,1 |
| Hoja juvenil | Inferior | 2,8 | 3,7 | 3,0 | | 4,0 | 12,6 | 14,7 | 12,8 | | 14,9 | 35,7 | 56,0 | 49,0 | | 50,7 |
| Rama > 1 cm | Superior | 4,3 | 4,3 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 17,4 | 17,4 | 15,5 | 15,5 | 15,5 | 8,0 | 8,0 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| | Medio | 3,7 | 3,7 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 17,1 | 17,1 | 16,7 | 16,7 | 16,7 | 7,3 | 7,3 | 9,0 | 9,0 | 9,0 |
| | Inferior | 2,8 | 2,8 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 12,5 | 12,5 | 16,5 | 16,5 | 16,5 | 7,4 | 7,4 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| Ramilla | Superior | 3,9 | 3,9 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 11,2 | 11,2 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 11,9 | 11,9 | 16,2 | 16,2 | 16,2 |
| | Medio | 3,9 | 3,9 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 13,0 | 13,0 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,0 | 11,0 | 12,7 | 12,7 | 12,7 |
| | Inferior | 4,5 | 4,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 14,2 | 14,2 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 11,4 | 11,4 | 10,2 | 10,2 | 10,2 |
| Rama muerta | Inferior | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 8,2 | 8,2 | 8,2 | 8,2 | 8,2 |

Cuadro 7. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 9 (T0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 9,4 | 8,6 | 5,6 | 6,5 | 6,6 | 24,3 | 17,3 | 20,1 | 18,7 | 16,8 | 22,0 | 21,5 | 22,9 | 32,9 | 23,8 |
| | Medio | 6,5 | 8,2 | 4,5 | 5,4 | 6,1 | 21,5 | 17,0 | 16,3 | 15,4 | 15,9 | 21,3 | 22,9 | 21,7 | 30,6 | 29,2 |
| | Inferior | 5,4 | 5,4 | 4,7 | 2,6 | 4,7 | 17,1 | 12,1 | 15,2 | 11,9 | 12,8 | 36,0 | 24,3 | 26,8 | 42,7 | 28,7 |
| Hoja juvenil | Superior | 7,7 | - | - | - | - | 17,7 | - | - | - | - | 28,3 | - | - | - | - |
| | Medio | 6,5 | - | - | - | - | 18,5 | - | - | - | - | 21,5 | - | - | - | - |
| | Inferior | 4,5 | - | - | 4,2 | 4,4 | 14,2 | - | - | 12,4 | 13,5 | 31,5 | - | - | 34,0 | 41,3 |
| Rama > 1 cm | Superior | 4,7 | 4,7 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 13,9 | 13,9 | 15,8 | 15,8 | 15,8 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 |
| | Medio | 4,4 | 4,4 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 14,3 | 14,3 | 13,2 | 13,2 | 13,2 | 8,2 | 8,2 | 9,1 | 9,1 | 9,1 |
| | Inferior | 5,1 | 5,1 | 3,7 | 3,7 | 3,7 | 13,8 | 13,8 | 9,4 | 9,4 | 9,4 | 8,3 | 8,3 | 8,7 | 8,7 | 8,7 |
| Ramilla | Superior | 6,5 | 6,5 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 16,8 | 16,8 | 20,9 | 20,9 | 20,9 | 14,7 | 14,7 | 19,5 | 19,5 | 19,5 |
| | Medio | 6,2 | 6,2 | 5,6 | 5,6 | 5,6 | 14,2 | 14,2 | 12,4 | 12,4 | 12,4 | 12,1 | 12,1 | 15,5 | 15,5 | 15,5 |
| | Inferior | 5,4 | 5,4 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 11,7 | 11,7 | 12,3 | 12,3 | 12,3 | 12,2 | 12,2 | 14,0 | 14,0 | 14,0 |
| Rama muerta | Inferior | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 6,1 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 |

Cuadro 8. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en cada componente según clase diamétrica, para el tratamiento 12 (T1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 4,7 | 5,6 | 4,5 | 6,5 | 5,8 | 17,5 | 20,1 | 17,1 | 22,0 | 17,8 | 22,4 | 23,6 | 23,1 | 33,9 | 34,4 |
| | Medio | 4,4 | 5,1 | 4,4 | 6,6 | 5,4 | 15,2 | 17,5 | 14,0 | 18,5 | 17,3 | 24,1 | 24,5 | 23,6 | 30,3 | 30,8 |
| | Inferior | 4,2 | 4,5 | 4,0 | 5,6 | 4,5 | 12,9 | 13,3 | 12,9 | 16,3 | 18,1 | 36,4 | 40,9 | 40,1 | 35,9 | 42,5 |
| Hoja juvenil | Inferior | 3,7 | | 4,7 | 4,5 | | 11,2 | | 14,7 | 14,2 | | 45,5 | | 37,1 | 46,5 | |
| Rama > 1 cm | Superior | 3,3 | 3,3 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 17,3 | 17,3 | 15,2 | 15,2 | 15,2 | 9,0 | 9,0 | 8,4 | 8,4 | 8,4 |
| | Medio | 3,5 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 21,9 | 21,9 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 9,7 | 9,7 | 7,2 | 7,2 | 7,2 |
| | Inferior | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 18,1 | 18,1 | 8,7 | 8,7 | 8,7 | 8,1 | 8,1 | 6,4 | 6,4 | 6,4 |
| Ramilla | Superior | 3,3 | 3,3 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 11,9 | 11,9 | 19,3 | 19,3 | 19,3 | 11,9 | 11,9 | 16,6 | 16,6 | 16,6 |
| | Medio | 3,5 | 3,5 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 13,2 | 13,2 | 14,0 | 14,0 | 14,0 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 |
| | Inferior | 3,7 | 3,7 | 5,7 | 5,7 | 5,7 | 13,9 | 13,9 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 11,1 | 11,1 | 11,0 | 11,0 | 11,0 |
| Rama muerta | Inferior | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 4,1 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 11,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |

Cuadro 9. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 1 (B0).

| Madera Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 1,2 | 0,9 | 1,1 | 1,7 | 3,3 | 2,5 | 2,6 | 1,9 | 2,3 |
| 1 | 1,2 | 0,9 | 1,1 | 1,6 | 2,7 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,6 |
| 2 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 1,9 | 1,7 | 2,4 | 3,8 | 3,1 |
| 3 | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 2,0 | 1,7 | 2,8 | 3,8 | 3,3 |
| 4 | 1,9 | 1,4 | 1,7 | 1,6 | 2,1 | 1,9 | 3,3 | 3,7 | 3,5 |
| 5 | 2,0 | 1,5 | 1,8 | 1,3 | 2,1 | 1,7 | 2,9 | 3,8 | 3,4 |
| 6 | 2,1 | 1,7 | 1,9 | 0,9 | 2,1 | 1,5 | 2,5 | 4,0 | 3,3 |
| 7 | 2,2 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 2,3 | 2,1 | 2,6 | 3,7 | 3,2 |
| 8 | 2,4 | 1,6 | 2,0 | 3,1 | 2,6 | 2,9 | 2,8 | 3,3 | 3,1 |
| 9 | 2,7 | 1,7 | 2,2 | 3,5 | 2,4 | 3,0 | 3,1 | 3,6 | 3,4 |
| 10 + | 3,1 | 1,9 | 2,5 | 4,0 | 2,2 | 3,1 | 3,5 | 4,0 | 3,8 |
| Promedio | 2,0 | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,2 | 2,8 | 3,5 | 3,2 |

| Corteza Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 2,8 | 2,1 | 2,5 | 5,8 | 4,7 | 5,3 | 13,5 | 15,9 | 14,7 |
| 1 | 3,0 | 2,4 | 2,7 | 6,4 | 5,7 | 6,0 | 14,3 | 16,0 | 15,1 |
| 2 | 3,3 | 2,8 | 3,1 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 15,4 | 16,1 | 15,8 |
| 3 | 3,5 | 2,9 | 3,2 | 8,7 | 7,8 | 8,2 | 16,9 | 16,2 | 16,6 |
| 4 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 10,3 | 8,4 | 9,4 | 18,5 | 16,4 | 17,5 |
| 5 | 4,2 | 2,7 | 3,4 | 11,2 | 6,9 | 9,0 | 19,2 | 14,9 | 17,1 |
| 6 | 4,7 | 2,3 | 3,5 | 12,2 | 5,2 | 8,7 | 20,1 | 13,1 | 16,6 |
| 7 | 4,8 | 3,0 | 3,9 | 12,6 | 6,6 | 9,6 | 21,7 | 15,6 | 18,7 |
| 8 | 4,9 | 3,7 | 4,3 | 13,1 | 8,2 | 10,7 | 23,6 | 18,5 | 21,1 |
| 9 | 5,2 | 3,4 | 4,3 | 13,3 | 7,7 | 10,5 | 23,9 | 18,4 | 21,1 |
| 10 + | 5,6 | 3,1 | 4,4 | 13,6 | 7,2 | 10,4 | 24,3 | 18,2 | 21,3 |
| Promedio | 4,2 | 2,8 | 3,5 | 10,4 | 6,9 | 8,6 | 19,2 | 16,3 | 17,8 |

Cuadro 10. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 4 (B1).

| Madera Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,7 | 2,6 | 2,2 | 3,4 | 7,9 | 5,7 |
| 1 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 1,5 | 2,1 | 1,8 | 3,3 | 7,4 | 5,3 |
| 2 | 0,9 | 0,3 | 0,6 | 1,0 | 1,4 | 1,2 | 3,0 | 6,6 | 4,8 |
| 3 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 3,0 | 7,8 | 5,4 |
| 4 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 2,3 | 1,6 | 2,0 | 3,1 | 9,2 | 6,2 |
| 5 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 2,2 | 1,5 | 1,9 | 3,4 | 9,2 | 6,3 |
| 6 | 1,6 | 0,9 | 1,3 | 2,1 | 1,4 | 1,8 | 3,8 | 9,3 | 6,6 |
| 7 | 1,6 | 0,9 | 1,3 | 2,0 | 1,7 | 1,9 | 3,4 | 9,2 | 6,3 |
| 8 | 1,7 | 0,9 | 1,3 | 1,9 | 2,1 | 2,0 | 3,0 | 9,1 | 6,1 |
| 9 | 2,0 | 1,4 | 1,7 | 2,4 | 3,1 | 2,8 | 3,2 | 9,5 | 6,4 |
| 10 + | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 3,0 | 4,2 | 3,6 | 3,5 | 9,9 | 6,7 |
| Promedio | 1,4 | 0,9 | 1,2 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 3,3 | 8,7 | 6,0 |

| Corteza Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 5,8 | 3,7 | 4,8 | 15,0 | 13,8 | 14,4 |
| 1 | 2,6 | 2,1 | 2,4 | 7,2 | 5,0 | 6,1 | 15,6 | 14,8 | 15,2 |
| 2 | 3,1 | 2,4 | 2,8 | 9,8 | 7,2 | 8,5 | 16,6 | 16,4 | 16,5 |
| 3 | 3,2 | 2,3 | 2,7 | 10,3 | 7,0 | 8,6 | 17,2 | 16,0 | 16,6 |
| 4 | 3,3 | 2,1 | 2,7 | 10,8 | 6,8 | 8,8 | 17,8 | 15,6 | 16,7 |
| 5 | 3,0 | 2,5 | 2,8 | 9,0 | 6,9 | 8,0 | 16,7 | 17,2 | 16,9 |
| 6 | 2,6 | 3,0 | 2,8 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 15,4 | 18,9 | 17,2 |
| 7 | 3,0 | 2,8 | 2,9 | 8,1 | 6,6 | 7,3 | 16,8 | 16,7 | 16,8 |
| 8 | 3,5 | 2,6 | 3,1 | 9,3 | 6,1 | 7,7 | 18,5 | 14,2 | 16,4 |
| 9 | 3,8 | 2,8 | 3,3 | 9,0 | 6,5 | 7,8 | 19,1 | 15,5 | 17,3 |
| 10 + | 4,2 | 3,0 | 3,6 | 8,7 | 7,0 | 7,9 | 19,9 | 17,0 | 18,5 |
| Promedio | 3,2 | 2,5 | 2,8 | 8,6 | 6,3 | 7,5 | 17,1 | 16,0 | 16,6 |

Cuadro 11. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 5 (R0).

| Madera Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 2,1 | 1,7 | 1,9 | 3,7 | 3,7 | 3,7 |
| 1 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 2,2 | 1,6 | 1,9 | 3,5 | 4,6 | 4,0 |
| 2 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 2,3 | 1,5 | 1,9 | 3,2 | 5,9 | 4,5 |
| 3 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 1,9 | 1,3 | 1,6 | 2,8 | 5,3 | 4,0 |
| 4 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 1,4 | 1,0 | 1,2 | 2,4 | 4,6 | 3,5 |
| 5 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 1,6 | 1,3 | 1,5 | 2,9 | 4,6 | 3,7 |
| 6 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 3,4 | 4,6 | 4,0 |
| 7 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 2,8 | 1,7 | 2,2 | 3,2 | 4,5 | 3,8 |
| 8 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 3,8 | 1,7 | 2,8 | 2,9 | 4,3 | 3,6 |
| 9 | 1,7 | 1,4 | 1,6 | 3,6 | 2,6 | 3,1 | 3,8 | 4,5 | 4,1 |
| 10 + | 2,3 | 1,5 | 1,9 | 3,3 | 3,6 | 3,5 | 4,9 | 4,7 | 4,8 |
| Promedio | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 2,4 | 1,8 | 2,1 | 3,3 | 4,7 | 4,0 |

| Corteza Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 2,3 | 1,9 | 2,1 | 6,8 | 4,4 | 5,6 | 15,4 | 13,5 | 14,5 |
| 1 | 2,8 | 2,4 | 2,6 | 8,1 | 6,1 | 7,1 | 16,6 | 14,6 | 15,6 |
| 2 | 3,7 | 3,1 | 3,4 | 10,1 | 8,6 | 9,4 | 18,5 | 16,3 | 17,4 |
| 3 | 3,3 | 2,9 | 3,1 | 9,1 | 7,4 | 8,2 | 17,6 | 16,3 | 17,0 |
| 4 | 2,8 | 2,6 | 2,7 | 7,9 | 6,1 | 7,0 | 16,6 | 16,3 | 16,5 |
| 5 | 3,7 | 2,9 | 3,3 | 9,4 | 6,7 | 8,1 | 17,4 | 16,1 | 16,8 |
| 6 | 4,7 | 3,3 | 4,0 | 11,2 | 7,4 | 9,3 | 18,4 | 15,9 | 17,2 |
| 7 | 4,9 | 2,9 | 3,9 | 10,7 | 8,0 | 9,3 | 19,2 | 16,0 | 17,6 |
| 8 | 5,1 | 2,5 | 3,8 | 10,0 | 8,6 | 9,3 | 20,1 | 16,2 | 18,2 |
| 9 | 5,4 | 2,7 | 4,1 | 10,9 | 8,6 | 9,8 | 20,8 | 16,7 | 18,8 |
| 10 + | 5,8 | 3,0 | 4,4 | 12,1 | 8,7 | 10,4 | 21,7 | 17,3 | 19,5 |
| Promedio | 4,0 | 2,8 | 3,4 | 9,7 | 7,3 | 8,5 | 18,4 | 15,9 | 17,2 |

Cuadro 12. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 8 (R1).

| Madera Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 1,6 | 3,7 | 2,7 | 4,2 | 4,9 | 4,6 | 4,2 | 8,6 | 6,4 |
| 1 | 1,7 | 2,9 | 2,3 | 3,4 | 4,1 | 3,7 | 3,6 | 6,3 | 5,0 |
| 2 | 1,9 | 1,6 | 1,8 | 2,3 | 2,8 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| 3 | 2,1 | 1,7 | 1,9 | 2,9 | 3,1 | 3,0 | 3,5 | 2,8 | 3,1 |
| 4 | 2,3 | 1,9 | 2,1 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 4,2 | 2,8 | 3,5 |
| 5 | 2,6 | 2,7 | 2,7 | 3,6 | 3,9 | 3,8 | 3,6 | 4,5 | 4,1 |
| 6 | 3,0 | 3,7 | 3,4 | 3,8 | 4,4 | 4,1 | 3,0 | 6,5 | 4,8 |
| 7 | 3,3 | 3,0 | 3,2 | 3,9 | 4,1 | 4,0 | 3,8 | 5,7 | 4,7 |
| 8 | 3,7 | 2,3 | 3,0 | 4,0 | 3,8 | 3,9 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 9 | 3,7 | 2,5 | 3,1 | 4,5 | 4,1 | 4,3 | 5,2 | 4,6 | 4,9 |
| 10 + | 3,8 | 2,8 | 3,3 | 5,2 | 4,5 | 4,9 | 5,8 | 4,4 | 5,1 |
| Promedio | 2,7 | 2,6 | 2,7 | 3,8 | 3,9 | 3,8 | 4,0 | 4,9 | 4,5 |

| Corteza Altura (m) | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|-----------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| 0 | 2,9 | 2,5 | 2,7 | 8,2 | 9,3 | 8,8 | 16,9 | 16,7 | 16,8 |
| 1 | 3,2 | 2,6 | 2,9 | 9,7 | 10,1 | 9,9 | 17,2 | 16,3 | 16,8 |
| 2 | 3,7 | 2,8 | 3,3 | 11,7 | 11,3 | 11,5 | 17,6 | 15,8 | 16,7 |
| 3 | 3,6 | 2,7 | 3,1 | 11,5 | 11,2 | 11,4 | 18,1 | 16,2 | 17,1 |
| 4 | 3,4 | 2,6 | 3,0 | 11,3 | 11,1 | 11,2 | 18,6 | 16,7 | 17,7 |
| 5 | 3,2 | 2,9 | 3,0 | 11,9 | 10,5 | 11,2 | 18,3 | 16,4 | 17,4 |
| 6 | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 12,5 | 9,8 | 11,2 | 18,0 | 16,1 | 17,1 |
| 7 | 3,1 | 3,3 | 3,2 | 11,3 | 9,3 | 10,3 | 17,6 | 16,0 | 16,8 |
| 8 | 3,2 | 3,4 | 3,3 | 9,9 | 8,7 | 9,3 | 17,2 | 15,9 | 16,6 |
| 9 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 13,4 | 12,1 | 12,8 | 20,8 | 19,4 | 20,1 |
| 10 + | 5,9 | 4,8 | 5,4 | 17,7 | 16,0 | 16,9 | 25,3 | 23,3 | 24,3 |
| Promedio | 3,6 | 3,2 | 3,4 | 11,7 | 10,9 | 11,3 | 18,7 | 17,2 | 17,9 |

Cuadro 13. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 9 (T0).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|
| | Altura (m) | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes |
| 0 | 1,9 | 1,4 | 1,7 | 3,0 | 2,1 | 2,6 | 2,8 | 4,2 | 3,5 |
| 1 | 2,2 | 1,4 | 1,8 | 2,9 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 4,1 | 3,3 |
| 2 | 2,6 | 1,4 | 2,0 | 2,8 | 1,9 | 2,4 | 1,9 | 4,0 | 3,0 |
| 3 | 2,5 | 1,6 | 2,1 | 2,9 | 1,9 | 2,4 | 1,6 | 4,2 | 2,9 |
| 4 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 3,1 | 1,9 | 2,5 | 1,2 | 4,5 | 2,9 |
| 5 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 3,1 | 2,9 | 3,0 | 1,1 | 6,1 | 3,6 |
| 6 | 2,8 | 3,3 | 3,1 | 3,1 | 4,0 | 3,6 | 0,9 | 7,9 | 4,4 |
| 7 | 2,7 | 3,0 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 6,5 | 4,8 |
| 8 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,8 | 2,3 | 2,6 | 6,3 | 4,9 | 5,6 |
| 9 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 2,9 | 6,3 | 4,9 | 5,6 |
| 10 + | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,8 | 3,8 | 3,3 | 6,3 | 4,9 | 5,6 |
| Promedio | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 2,9 | 2,6 | 2,8 | 3,1 | 5,1 | 4,1 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|
| | Altura (m) | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes |
| 0 | 3,7 | 2,6 | 3,2 | 9,3 | 5,2 | 7,3 | 17,0 | 16,1 | 16,6 |
| 1 | 3,9 | 2,8 | 3,3 | 11,2 | 5,8 | 8,5 | 17,0 | 18,1 | 17,5 |
| 2 | 4,2 | 3,0 | 3,6 | 14,4 | 6,7 | 10,6 | 16,9 | 21,0 | 19,0 |
| 3 | 4,2 | 3,0 | 3,6 | 14,0 | 6,5 | 10,2 | 18,2 | 19,4 | 18,8 |
| 4 | 4,2 | 3,0 | 3,6 | 13,5 | 6,3 | 9,9 | 19,7 | 17,6 | 18,7 |
| 5 | 4,4 | 3,5 | 3,9 | 12,6 | 6,9 | 9,7 | 19,8 | 18,1 | 19,0 |
| 6 | 4,6 | 4,0 | 4,3 | 11,5 | 7,5 | 9,5 | 20,0 | 18,6 | 19,3 |
| 7 | 5,0 | 4,7 | 4,8 | 11,9 | 8,4 | 10,2 | 20,9 | 20,3 | 20,6 |
| 8 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 12,6 | 9,5 | 11,1 | 22,2 | 22,1 | 22,2 |
| 9 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 12,6 | 11,0 | 11,8 | 22,2 | 22,3 | 22,2 |
| 10 + | 5,5 | 5,6 | 5,6 | 12,6 | 12,9 | 12,8 | 22,2 | 22,5 | 22,4 |
| Promedio | 4,6 | 3,9 | 4,3 | 12,4 | 7,9 | 10,1 | 19,6 | 19,6 | 19,6 |

Cuadro 14. Contenido de cobre, cinc y boro (mg/kg) en el tronco según altura, para el tratamiento 12 (T1).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|
| | Altura (m) | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes |
| 0 | 1,2 | 2,3 | 1,8 | 1,4 | 1,9 | 1,7 | 5,8 | 5,4 | 5,6 |
| 1 | 1,1 | 2,3 | 1,7 | 1,7 | 2,1 | 1,9 | 6,1 | 5,5 | 5,8 |
| 2 | 1,0 | 2,3 | 1,7 | 2,1 | 2,3 | 2,2 | 6,5 | 5,6 | 6,1 |
| 3 | 1,2 | 2,5 | 1,9 | 1,9 | 2,3 | 2,1 | 6,0 | 5,7 | 5,9 |
| 4 | 1,4 | 2,8 | 2,1 | 1,7 | 2,3 | 2,0 | 5,4 | 5,9 | 5,7 |
| 5 | 1,3 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,8 | 1,6 | 5,5 | 5,4 | 5,5 |
| 6 | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 5,6 | 4,9 | 5,3 |
| 7 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 4,6 | 4,1 | 4,4 |
| 8 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 3,5 | 3,3 | 3,4 |
| 9 | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,5 | 2,6 | 2,5 | 3,6 | 3,8 | 3,7 |
| 10 + | 2,4 | 2,3 | 2,4 | 3,3 | 3,7 | 3,5 | 3,8 | 4,4 | 4,1 |
| Promedio | 1,5 | 2,1 | 1,8 | 1,8 | 2,1 | 2,0 | 5,1 | 4,9 | 5,0 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|----------|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|
| | Altura (m) | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes |
| 0 | 2,5 | 2,8 | 2,7 | 8,3 | 6,0 | 7,2 | 16,4 | 15,0 | 15,7 |
| 1 | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 10,3 | 7,3 | 8,8 | 17,4 | 16,1 | 16,7 |
| 2 | 3,4 | 2,8 | 3,1 | 13,4 | 9,5 | 11,5 | 18,9 | 17,8 | 18,4 |
| 3 | 3,1 | 2,7 | 2,9 | 12,3 | 9,8 | 11,1 | 18,4 | 17,7 | 18,0 |
| 4 | 2,8 | 2,6 | 2,7 | 11,1 | 10,2 | 10,7 | 17,8 | 17,5 | 17,7 |
| 5 | 3,4 | 2,9 | 3,1 | 12,3 | 9,7 | 11,0 | 18,5 | 17,5 | 18,0 |
| 6 | 4,0 | 3,2 | 3,6 | 13,6 | 9,1 | 11,4 | 19,2 | 17,5 | 18,4 |
| 7 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 11,0 | 12,3 | 11,6 | 17,8 | 17,8 | 17,8 |
| 8 | 2,8 | 3,6 | 3,2 | 8,1 | 15,8 | 12,0 | 16,3 | 18,2 | 17,3 |
| 9 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 11,5 | 14,6 | 13,1 | 19,8 | 19,9 | 19,9 |
| 10 + | 5,7 | 4,8 | 5,3 | 15,3 | 13,3 | 14,3 | 23,8 | 21,9 | 22,9 |
| Promedio | 3,5 | 3,2 | 3,4 | 11,6 | 10,7 | 11,1 | 18,6 | 17,9 | 18,2 |

Cuadro 15. Contenido promedio de cobre, cinc, boro (mg/kg) y ceniza (%) según componente de la copa y del tronco para los tratamientos sin fertilización postplantación.

| Componente | B0 | | | | R0 | | | | T0 | | | |
|--------------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|
| | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza |
| Hoja adulta | 5,2 | 16,7 | 25,8 | 4,4 | 4,5 | 14,7 | 24,0 | 4,5 | 6,0 | 16,8 | 27,2 | 3,7 |
| Hoja juvenil | 4,1 | 14,7 | 40,2 | 6,9 | 3,9 | 10,7 | 28,7 | 5,7 | 6,2 | 16,5 | 28,5 | 3,9 |
| Ramilla | 4,8 | 14,0 | 10,7 | 2,9 | 5,6 | 11,6 | 10,8 | 3,5 | 5,9 | 14,8 | 15,0 | 2,9 |
| Rama > 1 cm | 3,7 | 13,5 | 6,1 | 2,0 | 4,7 | 12,4 | 6,1 | 2,3 | 4,3 | 13,3 | 9,4 | 1,9 |
| Rama muerta | 6,4 | 8,1 | 10,4 | 6,2 | 4,1 | 6,2 | 5,8 | 2,6 | 6,1 | 17,0 | 8,8 | 2,6 |
| Corteza | 3,4 | 8,3 | 17,5 | 5,5 | 3,3 | 8,3 | 16,9 | 5,5 | 4,2 | 9,7 | 19,6 | 5,6 |
| Madera | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 0,6 | 0,9 | 2,1 | 4,1 | 0,9 | 2,3 | 2,8 | 4,3 | 0,4 |

Cuadro 16. Contenido promedio de cobre, cinc, boro (mg/kg) y ceniza (%) según componente de la copa y del tronco para los tratamientos con fertilización postplantación.

| Componente | B1 | | | | R1 | | | | T1 | | | |
|--------------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|-----|------|------|--------|
| | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza | Cu | Zn | B | Ceniza |
| Hoja adulta | 4,6 | 15,3 | 29,0 | 4,4 | 4,8 | 15,8 | 28,1 | 3,3 | 5,1 | 16,7 | 31,1 | 2,9 |
| Hoja juvenil | 3,4 | 12,3 | 35,7 | 4,7 | 3,4 | 13,8 | 47,9 | 5,8 | 4,3 | 13,4 | 43,0 | 3,3 |
| Ramilla | 3,6 | 13,0 | 9,5 | 3,0 | 4,5 | 13,0 | 12,4 | 2,7 | 4,6 | 14,6 | 12,5 | 2,4 |
| Rama > 1 cm | 2,7 | 13,5 | 5,2 | 1,9 | 3,6 | 16,0 | 8,3 | 2,0 | 3,4 | 14,7 | 8,0 | 1,7 |
| Rama muerta | 3,8 | 11,4 | 7,8 | 3,6 | 2,9 | 11,4 | 8,2 | 2,7 | 4,1 | 11,6 | 8,6 | 2,3 |
| Corteza | 2,8 | 7,3 | 16,5 | 5,5 | 3,3 | 11,2 | 17,8 | 6,0 | 3,3 | 11,0 | 18,2 | 5,6 |
| Madera | 1,1 | 2,1 | 6,5 | 0,7 | 2,7 | 3,9 | 4,5 | 0,6 | 1,9 | 2,0 | 5,0 | 0,5 |

Anexo 5

Resultados parciales.

Valores máximos y mínimos de los contenidos de cobre, cinc y boro en la copa.

Cuadro 17. Valores mínimos de los contenidos de cobre, boro y cinc (mg/kg) en la copa.

| Trat. | Tercio | Hoja Adulta | | | Hoja Juvenil | | | Rama > 1 cm | | | Ramilla | | | Rama Muerta | | |
|-------|--------|-------------|------|------|--------------|------|------|-------------|------|------|---------|------|------|-------------|------|------|
| | | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B |
| B0 | inf | 4.7 | 11.9 | 23.8 | 3.1 | 12.2 | 26.2 | 4.1 | 13.1 | 4.0 | 5.6 | 10.9 | 6.6 | 6.4 | 8.1 | 10.4 |
| | med | 4.4 | 13.8 | 20.3 | - | - | - | 3.3 | 12.9 | 4.8 | 4.4 | 14.9 | 10.9 | - | - | - |
| | sup | 4.9 | 16.6 | 19.8 | - | - | - | 2.8 | 11.1 | 6.2 | 3.4 | 14.1 | 13.0 | - | - | - |
| B1 | inf | 4.2 | 11.0 | 33.6 | 3.3 | 10.1 | 41.3 | 2.3 | 10.1 | 4.0 | 3.9 | 10.9 | 4.2 | 3.8 | 11.4 | 7.8 |
| | med | 4.4 | 11.7 | 22.4 | 3.3 | 13.7 | 28.4 | 1.8 | 12.8 | 3.2 | 3.1 | 12.2 | 9.8 | - | - | - |
| | sup | 4.2 | 15.7 | 18.7 | - | - | - | 1.9 | 12.9 | 5.5 | 3.3 | 14.5 | 12.6 | - | - | - |
| R0 | inf | 3.8 | 13.1 | 25.7 | 2.6 | 9.6 | 29.9 | 5.7 | 11.1 | 4.6 | 5.1 | 9.7 | 6.9 | 4.1 | 6.2 | 5.8 |
| | med | 3.5 | 13.1 | 20.3 | 4.4 | 9.3 | 22.6 | 2.6 | 9.3 | 5.1 | 3.9 | 10.6 | 10.4 | - | - | - |
| | sup | 3.8 | 14.9 | 18.5 | - | - | - | 3.6 | 10.0 | 6.4 | 4.3 | 11.5 | 10.4 | - | - | - |
| R1 | inf | 3.8 | 13.3 | 28.7 | 2.8 | 12.6 | 35.7 | 2.8 | 12.5 | 7.4 | 4.5 | 12.5 | 10.2 | 2.9 | 11.4 | 8.2 |
| | med | 4.4 | 13.1 | 21.7 | - | - | - | 3.3 | 16.7 | 7.3 | 3.9 | 11.1 | 11.0 | - | - | - |
| | sup | 4.9 | 16.3 | 17.1 | - | - | - | 3.5 | 15.5 | 8.0 | 3.9 | 11.2 | 11.9 | - | - | - |
| T0 | inf | 2.6 | 11.9 | 24.3 | 4.2 | 12.4 | 31.5 | 3.7 | 9.4 | 8.3 | 5.4 | 11.7 | 12.2 | 6.1 | 17.0 | 8.8 |
| | med | 4.5 | 15.4 | 21.3 | 6.5 | 18.5 | 21.5 | 4.0 | 13.2 | 8.2 | 5.6 | 12.4 | 12.1 | - | - | - |
| | sup | 5.6 | 16.8 | 21.5 | 7.7 | 17.7 | 28.3 | 4.4 | 13.9 | 10.9 | 5.4 | 16.8 | 14.7 | - | - | - |
| T1 | inf | 4.0 | 12.9 | 35.9 | 3.7 | 11.2 | 37.1 | 3.0 | 8.7 | 6.4 | 3.7 | 13.6 | 11.0 | 4.1 | 11.6 | 8.6 |
| | med | 4.4 | 14.0 | 23.6 | - | - | - | 3.0 | 11.6 | 7.2 | 3.5 | 13.2 | 11.6 | - | - | - |
| | sup | 4.5 | 17.1 | 22.4 | - | - | - | 3.3 | 15.2 | 8.4 | 3.3 | 11.9 | 11.9 | - | - | - |

-: No hubo valor.

Cuadro 18. Valores máximos de los contenidos de cobre, boro y cinc (mg/kg) en la copa.

| Trat. | Tercio | Hoja Adulta | | | Hoja Juvenil | | | Rama > 1 cm | | | Ramilla | | | Rama Muerta | | |
|-------|--------|-------------|------|------|--------------|------|------|-------------|------|------|---------|------|------|-------------|------|------|
| | | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B | Cu | Zn | B |
| B0 | inf | 5.4 | 18.0 | 34.1 | 5.4 | 18.4 | 46.4 | 5.0 | 15.9 | 7.8 | 5.9 | 13.7 | 9.5 | 6.4 | 8.1 | 10.4 |
| | med | 5.8 | 18.2 | 24.7 | - | - | - | 4.4 | 18.8 | 9.5 | 4.9 | 15.5 | 11.2 | - | - | - |
| | sup | 6.6 | 21.3 | 26.8 | - | - | - | 2.8 | 11.1 | 6.2 | 4.9 | 15.7 | 13.6 | - | - | - |
| B1 | inf | 4.5 | 16.4 | 40.6 | 3.7 | 11.7 | 44.8 | 4.3 | 10.2 | 4.8 | 4.3 | 11.9 | 8.8 | 3.8 | 11.4 | 7.8 |
| | med | 4.9 | 17.5 | 31.1 | 3.3 | 13.7 | 28.4 | 3.7 | 14.1 | 5.3 | 3.7 | 12.7 | 10.0 | - | - | - |
| | sup | 6.1 | 21.3 | 25.4 | - | - | - | 3.5 | 22.8 | 10.2 | 3.5 | 16.3 | 12.8 | - | - | - |
| R0 | inf | 4.4 | 15.9 | 38.0 | 4.4 | 14.7 | 38.7 | 6.5 | 12.4 | 4.7 | 7.9 | 13.6 | 7.8 | 4.1 | 6.2 | 5.8 |
| | med | 4.9 | 15.9 | 23.3 | 4.4 | 9.3 | 22.6 | 4.5 | 16.7 | 7.1 | 6.5 | 13.1 | 12.9 | - | - | - |
| | sup | 7.5 | 17.7 | 23.3 | - | - | - | 4.6 | 18.0 | 8.2 | 4.9 | 12.2 | 15.3 | - | - | - |
| R1 | inf | 4.9 | 15.6 | 42.7 | 4.0 | 14.9 | 56.0 | 4.1 | 16.5 | 8.3 | 5.5 | 14.2 | 11.4 | 2.9 | 11.4 | 8.2 |
| | med | 5.1 | 16.3 | 35.2 | - | - | - | 3.7 | 17.1 | 9.0 | 4.6 | 13.0 | 12.7 | - | - | - |
| | sup | 6.1 | 21.2 | 29.2 | - | - | - | 4.3 | 17.4 | 9.3 | 4.4 | 15.7 | 16.2 | - | - | - |
| T0 | inf | 5.4 | 17.1 | 42.7 | 4.5 | 14.2 | 41.3 | 5.1 | 13.8 | 8.7 | 6.4 | 12.3 | 14.0 | 6.1 | 17.0 | 8.8 |
| | med | 8.2 | 21.5 | 30.6 | 6.5 | 18.5 | 21.5 | 4.4 | 14.3 | 9.1 | 6.2 | 14.2 | 15.5 | - | - | - |
| | sup | 9.4 | 24.3 | 32.9 | 7.7 | 17.7 | 28.3 | 4.7 | 15.8 | 10.9 | 6.5 | 20.9 | 19.5 | - | - | - |
| T1 | inf | 5.6 | 18.1 | 42.5 | 4.7 | 14.7 | 46.5 | 3.0 | 18.1 | 8.1 | 5.7 | 13.9 | 11.1 | 4.1 | 11.6 | 8.6 |
| | med | 6.6 | 18.5 | 30.8 | - | - | - | 3.5 | 21.9 | 9.7 | 5.1 | 14.0 | 11.6 | - | - | - |
| | sup | 6.5 | 22.0 | 34.4 | - | - | - | 4.5 | 17.3 | 9.0 | 5.4 | 19.3 | 16.6 | - | - | - |

-: No hubo valor

Anexo 6

Resultados parciales.

Cantidades de cobre, cinc y boro en la biomasa aérea.

Cuadro 19. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 1 (B0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,16 | 0,77 | 1,06 | 2,42 | 1,08 | 0,41 | 3,34 | 3,80 | 8,08 | 3,55 | 0,49 | 4,20 | 4,43 | 8,86 | 4,46 |
| | Medio | 0,32 | 1,80 | 7,05 | 9,34 | 3,44 | 0,90 | 6,43 | 20,77 | 31,08 | 10,78 | 1,46 | 8,47 | 29,28 | 47,10 | 15,86 |
| | Inferior | 0,32 | 1,55 | 7,83 | 7,72 | 3,77 | 0,85 | 5,94 | 27,66 | 23,34 | 9,55 | 1,99 | 11,09 | 52,15 | 55,72 | 19,10 |
| Hoja juvenil | Inferior | 0,19 | 0,20 | 0,73 | 0,50 | 0,05 | 0,47 | 0,75 | 3,07 | 1,89 | 0,20 | 1,59 | 2,08 | 7,16 | 5,93 | 0,44 |
| Rama > 1 cm | Superior | x | x | 0,05 | 0,54 | 0,45 | x | x | 0,19 | 2,12 | 1,80 | x | x | 0,11 | 1,19 | 1,00 |
| | Medio | x | 0,06 | 1,87 | 3,17 | 1,98 | x | 0,28 | 7,30 | 12,40 | 7,76 | x | 0,14 | 2,72 | 4,61 | 2,89 |
| | Inferior | x | 0,62 | 4,03 | 4,07 | 3,09 | x | 1,96 | 12,89 | 12,99 | 9,86 | x | 0,96 | 3,94 | 3,97 | 3,01 |
| Ramilla | Superior | 0,08 | 0,69 | 0,38 | 0,73 | 0,32 | 0,24 | 2,22 | 1,59 | 3,01 | 1,34 | 0,20 | 1,84 | 1,54 | 2,90 | 1,29 |
| | Medio | 0,17 | 1,06 | 2,65 | 3,29 | 0,98 | 0,59 | 3,75 | 8,07 | 10,01 | 2,99 | 0,42 | 2,64 | 6,07 | 7,53 | 2,25 |
| | Inferior | 0,31 | 1,14 | 3,87 | 3,99 | 2,33 | 0,75 | 2,79 | 7,15 | 7,38 | 4,31 | 0,52 | 1,93 | 4,33 | 4,47 | 2,61 |
| Rama muerta | Inferior | 0,44 | 3,28 | 5,74 | 7,54 | 3,87 | 0,56 | 4,13 | 7,22 | 9,48 | 4,87 | 0,72 | 5,30 | 9,28 | 12,19 | 6,26 |

Cuadro 20. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 4 (B1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,30 | 1,14 | 2,99 | 3,85 | 0,44 | 1,07 | 3,97 | 11,23 | 14,76 | 1,52 | 1,74 | 3,49 | 13,17 | 22,01 | 2,26 |
| | Medio | 0,77 | 2,72 | 10,90 | 11,12 | 1,53 | 2,00 | 8,27 | 42,38 | 33,60 | 5,53 | 4,76 | 14,77 | 75,31 | 64,47 | 7,79 |
| | Inferior | 1,03 | 1,29 | 12,66 | 10,04 | 1,68 | 2,58 | 3,54 | 47,19 | 27,50 | 5,40 | 8,31 | 11,88 | 111,65 | 82,74 | 12,52 |
| Hoja juvenil | Medio | x | 0,60 | x | x | x | x | 2,50 | x | x | x | x | 5,19 | x | x | x |
| | Inferior | 0,01 | 0,20 | x | x | x | 0,03 | 0,70 | x | x | x | 0,13 | 2,68 | x | x | x |
| Rama > 1 cm | Superior | x | 0,06 | 0,31 | 0,77 | 0,11 | x | 0,41 | 2,09 | 5,20 | 0,72 | x | 0,18 | 0,89 | 2,22 | 0,31 |
| | Medio | 0,30 | 0,74 | 1,95 | 2,89 | 0,57 | 1,02 | 2,56 | 15,29 | 22,64 | 4,46 | 0,42 | 1,06 | 3,47 | 5,14 | 1,01 |
| | Inferior | 0,62 | 1,01 | 3,77 | 5,47 | 1,02 | 1,46 | 2,37 | 16,74 | 24,26 | 4,55 | 0,69 | 1,13 | 6,56 | 9,51 | 1,78 |
| Ramilla | Superior | 0,15 | 0,34 | 1,56 | 1,39 | 0,13 | 0,72 | 1,56 | 6,85 | 6,12 | 0,57 | 0,56 | 1,23 | 5,96 | 5,32 | 0,49 |
| | Medio | 0,27 | 0,76 | 3,34 | 3,70 | 0,58 | 1,08 | 3,01 | 11,45 | 12,69 | 1,99 | 0,87 | 2,42 | 9,02 | 9,99 | 1,56 |
| | Inferior | 0,62 | 1,30 | 4,29 | 3,65 | 0,67 | 1,72 | 3,60 | 11,99 | 10,20 | 1,88 | 1,27 | 2,66 | 4,62 | 3,93 | 0,72 |
| Rama muerta | Inferior | 0,67 | 1,54 | 6,82 | 7,64 | 0,99 | 1,99 | 4,61 | 20,36 | 22,83 | 2,96 | 1,36 | 3,15 | 13,90 | 15,59 | 2,02 |

Cuadro 21. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 5 (R0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,30 | 0,74 | 0,74 | 2,92 | 0,28 | 0,70 | 2,34 | 3,11 | 10,96 | 0,75 | 0,91 | 2,89 | 4,56 | 13,51 | 1,03 |
| | Medio | 0,66 | 1,70 | 6,88 | 10,58 | 1,07 | 1,80 | 7,75 | 24,36 | 38,88 | 3,26 | 2,96 | 11,35 | 37,74 | 60,61 | 4,94 |
| | Inferior | 0,53 | 1,45 | 6,86 | 10,28 | 0,78 | 1,58 | 5,78 | 24,55 | 35,43 | 2,58 | 4,59 | 9,34 | 50,90 | 70,86 | 4,77 |
| Hoja juvenil | Inferior | 0,32 | 0,27 | 0,02 | 0,53 | 0,05 | 0,92 | 1,51 | 0,07 | 1,94 | 0,14 | 2,72 | 3,99 | 0,22 | 7,04 | 0,35 |
| Rama > 1 cm | Superior | x | 0,04 | 0,35 | 0,95 | 0,04 | x | 0,22 | 0,75 | 2,06 | 0,10 | x | 0,08 | 0,62 | 1,69 | 0,08 |
| | Medio | 0,03 | 0,24 | 5,49 | 7,06 | 0,53 | 0,21 | 1,56 | 11,34 | 14,59 | 1,10 | 0,06 | 0,48 | 8,66 | 11,14 | 0,84 |
| | Inferior | 0,07 | 0,94 | 4,63 | 10,99 | 0,63 | 0,16 | 2,05 | 7,91 | 18,76 | 1,07 | 0,06 | 0,76 | 3,35 | 7,94 | 0,45 |
| Ramilla | Superior | 0,11 | 0,39 | 0,67 | 1,65 | 0,10 | 0,28 | 1,03 | 1,66 | 4,10 | 0,24 | 0,25 | 0,93 | 2,09 | 5,15 | 0,30 |
| | Medio | 0,33 | 0,99 | 4,95 | 7,24 | 0,39 | 1,12 | 3,33 | 8,07 | 11,81 | 0,64 | 0,89 | 2,64 | 9,82 | 14,37 | 0,77 |
| | Inferior | 0,41 | 1,32 | 5,29 | 7,92 | 0,45 | 1,11 | 3,52 | 6,49 | 9,72 | 0,55 | 0,63 | 2,02 | 4,62 | 6,92 | 0,39 |
| Rama muerta | Inferior | 0,28 | 0,92 | 4,37 | 5,54 | 0,37 | 0,43 | 1,39 | 6,61 | 8,38 | 0,55 | 0,40 | 1,29 | 6,13 | 7,77 | 0,51 |

X: no existe valor.

Cuadro 22. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 8 (R1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|-------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,41 | 0,99 | 3,57 | 1,84 | 0,49 | 1,46 | 3,36 | 10,38 | 5,96 | 1,69 | 1,36 | 4,58 | 12,16 | 6,77 | 2,33 |
| | Medio | 0,72 | 1,80 | 10,20 | 7,45 | 1,16 | 2,44 | 5,76 | 30,38 | 24,34 | 4,20 | 3,48 | 12,44 | 69,35 | 36,26 | 8,03 |
| | Inferior | 0,53 | 1,27 | 13,57 | 7,55 | 3,08 | 1,96 | 4,33 | 43,61 | 25,11 | 9,81 | 4,38 | 13,61 | 123,73 | 54,19 | 19,56 |
| Hoja juvenil | Inferior | 0,18 | 0,92 | 2,43 | x | 0,21 | 0,79 | 3,66 | 10,39 | x | 0,77 | 2,24 | 13,92 | 39,76 | x | 2,61 |
| Rama > 1 cm | Superior | 0,06 | 0,14 | 0,52 | 0,31 | 0,08 | 0,24 | 0,55 | 2,32 | 1,38 | 0,37 | 0,11 | 0,25 | 1,39 | 0,83 | 0,22 |
| | Medio | 0,15 | 0,15 | 4,71 | 2,43 | 0,82 | 0,68 | 0,69 | 23,85 | 12,30 | 4,17 | 0,29 | 0,30 | 12,85 | 6,63 | 2,25 |
| | Inferior | 0,12 | 0,66 | 8,11 | 4,92 | 2,39 | 0,53 | 2,95 | 32,65 | 19,81 | 9,63 | 0,31 | 1,75 | 16,42 | 9,96 | 4,84 |
| Ramilla | Superior | 0,22 | 0,50 | 1,81 | 0,78 | 0,16 | 0,63 | 1,45 | 6,47 | 2,79 | 0,58 | 0,67 | 1,54 | 6,67 | 2,88 | 0,60 |
| | Medio | 0,42 | 1,05 | 5,51 | 3,36 | 0,54 | 1,38 | 3,51 | 13,30 | 8,11 | 1,30 | 1,17 | 2,97 | 15,22 | 9,28 | 1,49 |
| | Inferior | 0,55 | 1,55 | 11,42 | 4,47 | 1,33 | 1,73 | 4,90 | 25,95 | 10,16 | 3,01 | 1,39 | 3,94 | 21,17 | 8,29 | 2,46 |
| Rama muerta | Inferior | 0,52 | 1,10 | 6,07 | 3,08 | 0,88 | 2,04 | 4,31 | 23,85 | 12,10 | 3,47 | 1,47 | 3,10 | 17,15 | 8,70 | 2,50 |

Cuadro 23. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 9 (T0).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|-------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,21 | 0,58 | 1,52 | 3,28 | 0,64 | 0,54 | 1,18 | 5,47 | 9,45 | 1,63 | 0,49 | 1,46 | 6,24 | 16,62 | 2,31 |
| | Medio | 0,62 | 3,70 | 5,86 | 11,05 | 2,30 | 2,04 | 7,68 | 21,22 | 31,51 | 6,01 | 2,02 | 10,35 | 28,25 | 62,60 | 11,03 |
| | Inferior | 0,34 | 3,93 | 14,51 | 6,22 | 2,98 | 1,07 | 8,80 | 46,94 | 28,46 | 8,12 | 2,24 | 17,68 | 82,77 | 102,11 | 18,21 |
| Hoja juvenil | Superior | 0,01 | x | x | x | x | 0,01 | x | x | x | x | 0,02 | | | | |
| | Medio | 0,03 | x | x | x | x | 0,09 | x | x | x | x | 0,11 | x | x | x | x |
| | Inferior | 0,30 | x | x | 0,14 | 0,33 | 0,94 | x | x | 0,40 | 1,00 | 2,09 | x | x | 1,11 | 3,05 |
| Rama > 1 cm | Superior | 0,03 | 0,02 | 0,17 | 0,71 | 0,23 | 0,08 | 0,07 | 0,63 | 2,56 | 0,81 | 0,06 | 0,06 | 0,43 | 1,76 | 0,56 |
| | Medio | 0,10 | 0,90 | 2,31 | 5,21 | 1,14 | 0,31 | 2,91 | 7,64 | 17,18 | 3,76 | 0,18 | 1,67 | 5,26 | 11,85 | 2,59 |
| | Inferior | 0,23 | 1,87 | 7,88 | 6,54 | 2,72 | 0,63 | 5,05 | 20,01 | 16,61 | 6,92 | 0,38 | 3,04 | 18,52 | 15,37 | 6,40 |
| Ramilla | Superior | 0,13 | 0,36 | 1,07 | 1,27 | 0,31 | 0,34 | 0,93 | 4,14 | 4,93 | 1,19 | 0,29 | 0,82 | 3,86 | 4,60 | 1,11 |
| | Medio | 0,49 | 2,15 | 4,59 | 4,31 | 0,85 | 1,13 | 4,93 | 10,17 | 9,54 | 1,88 | 0,96 | 4,20 | 12,71 | 11,92 | 2,35 |
| | Inferior | 0,38 | 2,58 | 10,19 | 5,98 | 1,63 | 0,81 | 5,60 | 19,58 | 11,50 | 3,13 | 0,85 | 5,84 | 22,28 | 13,09 | 3,56 |
| Rama muerta | Inferior | 0,51 | 2,44 | 8,74 | 8,18 | 2,23 | 1,42 | 6,84 | 24,50 | 22,92 | 6,23 | 0,73 | 3,53 | 12,65 | 11,83 | 3,22 |

Cuadro 24. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en cada componente de la copa según clase diamétrica, para el tratamiento 12 (T1).

| Componente | Tercio | Cobre | | | | | Cinc | | | | | Boro | | | | |
|--------------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|--------|-------|
| | | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S | -2S | -1S | DMC | +1S | +2S |
| Hoja adulta | Superior | 0,09 | 0,76 | 4,87 | 2,64 | 0,25 | 0,32 | 2,73 | 18,50 | 8,94 | 0,78 | 0,41 | 3,21 | 24,99 | 13,77 | 1,51 |
| | Medio | 0,39 | 3,31 | 14,21 | 10,34 | 2,07 | 1,33 | 11,36 | 45,22 | 28,97 | 6,63 | 2,11 | 15,90 | 76,22 | 47,45 | 11,81 |
| | Inferior | 0,43 | 2,70 | 10,83 | 16,49 | 4,25 | 1,33 | 7,98 | 34,93 | 48,00 | 17,09 | 3,74 | 24,53 | 108,58 | 105,71 | 40,12 |
| Hoja juvenil | Inferior | 0,10 | x | 0,03 | 0,37 | x | 0,29 | x | 0,11 | 1,18 | x | 1,19 | x | 0,27 | 3,86 | x |
| Rama > 1 cm | Superior | 0,01 | 0,07 | 1,78 | 1,05 | 0,13 | 0,03 | 0,38 | 6,02 | 3,54 | 0,45 | 0,02 | 0,20 | 3,33 | 1,96 | 0,25 |
| | Medio | 0,01 | 0,34 | 4,73 | 1,93 | 0,97 | 0,07 | 2,14 | 18,28 | 7,45 | 3,74 | 0,03 | 0,95 | 11,35 | 4,62 | 2,32 |
| | Inferior | 0,04 | 1,11 | 4,59 | 8,64 | 2,39 | 0,27 | 6,70 | 13,32 | 25,05 | 6,94 | 0,12 | 3,00 | 9,80 | 18,43 | 5,11 |
| Ramilla | Superior | 0,06 | 0,36 | 2,59 | 1,09 | 0,12 | 0,20 | 1,28 | 9,25 | 3,89 | 0,44 | 0,20 | 1,28 | 7,96 | 3,34 | 0,38 |
| | Medio | 0,19 | 1,28 | 7,42 | 3,22 | 0,91 | 0,71 | 4,82 | 20,36 | 8,83 | 2,49 | 0,63 | 4,24 | 16,87 | 7,31 | 2,07 |
| | Inferior | 0,34 | 1,95 | 7,29 | 8,69 | 2,01 | 1,27 | 7,34 | 17,40 | 20,73 | 4,80 | 1,01 | 5,86 | 14,07 | 16,77 | 3,88 |
| Rama muerta | Inferior | 0,52 | 2,10 | 6,61 | 7,62 | 2,91 | 1,46 | 5,90 | 18,62 | 21,45 | 8,21 | 1,08 | 4,37 | 13,79 | 15,88 | 6,08 |

X: no existe valor

Cuadro 25. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 1 (B0).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,9 | 2,3 | 1,6 | 1,2 | 8,6 | 4,9 | 1,9 | 4,9 | 3,4 |
| 1 | 0,7 | 2,0 | 1,4 | 0,9 | 5,9 | 3,4 | 1,4 | 5,7 | 3,6 |
| 2 | 0,7 | 2,1 | 1,4 | 0,8 | 3,9 | 2,3 | 1,3 | 7,8 | 4,6 |
| 3 | 0,7 | 2,2 | 1,5 | 0,7 | 3,7 | 2,2 | 1,3 | 6,9 | 4,1 |
| 4 | 0,8 | 2,4 | 1,6 | 0,7 | 3,5 | 2,1 | 1,4 | 6,2 | 3,8 |
| 5 | 0,7 | 2,2 | 1,5 | 0,4 | 3,1 | 1,8 | 1,0 | 5,6 | 3,3 |
| 6 | 0,6 | 2,2 | 1,4 | 0,2 | 2,7 | 1,5 | 0,7 | 5,1 | 2,9 |
| 7 | 0,5 | 1,6 | 1,1 | 0,4 | 2,3 | 1,4 | 0,6 | 3,6 | 2,1 |
| 8 | 0,4 | 1,2 | 0,8 | 0,5 | 2,0 | 1,2 | 0,5 | 2,5 | 1,5 |
| 9 | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 1,3 | 0,9 | 0,4 | 2,0 | 1,2 |
| 10 + | 0,5 | 1,7 | 1,1 | 0,7 | 2,0 | 1,3 | 0,6 | 3,6 | 2,1 |
| Promedio | 0,6 | 1,9 | 1,3 | 0,6 | 3,5 | 2,1 | 1,0 | 4,9 | 3,0 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,4 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 2,0 | 1,4 | 1,9 | 6,6 | 4,3 |
| 1 | 0,3 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 2,0 | 1,3 | 1,6 | 5,5 | 3,5 |
| 2 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 1,6 | 1,0 | 0,9 | 3,5 | 2,2 |
| 3 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 1,5 | 1,0 | 0,9 | 3,2 | 2,0 |
| 4 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,4 | 0,9 | 0,8 | 2,7 | 1,7 |
| 5 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 1,0 | 0,7 | 0,7 | 2,1 | 1,4 |
| 6 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 1,6 | 1,1 |
| 7 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 1,5 | 1,0 |
| 8 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 1,4 | 0,9 |
| 9 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 0,7 |
| 10 + | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 2,0 | 1,2 |
| Promedio | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 2,8 | 1,8 |

Cuadro 26. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 4 (B1).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,8 | 3,1 | 1,9 | 1,5 | 8,8 | 5,2 | 3,0 | 26,8 | 14,9 |
| 1 | 0,6 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 5,6 | 3,3 | 2,3 | 19,3 | 10,8 |
| 2 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 3,6 | 2,1 | 2,0 | 16,9 | 9,4 |
| 3 | 0,5 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 3,6 | 2,2 | 1,7 | 18,6 | 10,2 |
| 4 | 0,5 | 2,0 | 1,3 | 1,2 | 3,6 | 2,4 | 1,6 | 20,5 | 11,0 |
| 5 | 0,6 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 3,0 | 2,0 | 1,5 | 18,7 | 10,1 |
| 6 | 0,6 | 1,7 | 1,1 | 0,8 | 2,6 | 1,7 | 1,4 | 17,1 | 9,2 |
| 7 | 0,5 | 1,3 | 0,9 | 0,6 | 2,6 | 1,6 | 1,0 | 13,6 | 7,3 |
| 8 | 0,4 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 2,6 | 1,5 | 0,7 | 11,3 | 6,0 |
| 9 | 0,3 | 1,4 | 0,8 | 0,4 | 3,1 | 1,7 | 0,5 | 9,4 | 5,0 |
| 10 + | 0,5 | 3,8 | 2,2 | 0,7 | 8,4 | 4,5 | 0,8 | 19,8 | 10,3 |
| Promedio | 0,5 | 1,8 | 1,2 | 0,8 | 4,3 | 2,6 | 1,5 | 17,5 | 9,5 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,4 | 1,1 | 0,7 | 0,9 | 2,2 | 1,5 | 2,2 | 8,1 | 5,2 |
| 1 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 2,2 | 1,5 | 1,8 | 6,6 | 4,2 |
| 2 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 2,1 | 1,4 | 1,3 | 4,9 | 3,1 |
| 3 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 1,9 | 1,3 | 1,1 | 4,4 | 2,8 |
| 4 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 1,6 | 1,1 | 1,0 | 3,6 | 2,3 |
| 5 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,4 | 0,9 | 0,8 | 3,6 | 2,2 |
| 6 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 0,8 | 0,6 | 3,4 | 2,0 |
| 7 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 0,5 | 2,4 | 1,5 |
| 8 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 1,7 | 1,1 |
| 9 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 1,5 | 0,9 |
| 10 + | 0,1 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 1,7 | 1,0 | 0,6 | 4,1 | 2,4 |
| Promedio | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 4,0 | 2,5 |

Cuadro 27. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 5 (R0).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 1,4 | 5,2 | 3,3 | 2,4 | 11,4 | 6,9 |
| 1 | 0,3 | 1,0 | 0,6 | 1,1 | 4,0 | 2,6 | 1,8 | 11,4 | 6,6 |
| 2 | 0,1 | 1,7 | 0,9 | 1,1 | 3,6 | 2,3 | 1,6 | 14,0 | 7,8 |
| 3 | 0,1 | 1,5 | 0,8 | 0,8 | 2,7 | 1,8 | 1,2 | 11,4 | 6,3 |
| 4 | 0,1 | 1,3 | 0,7 | 0,5 | 1,9 | 1,2 | 0,9 | 8,9 | 4,9 |
| 5 | 0,2 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 2,2 | 1,4 | 0,8 | 7,7 | 4,3 |
| 6 | 0,2 | 1,3 | 0,7 | 0,4 | 2,4 | 1,4 | 0,8 | 6,5 | 3,6 |
| 7 | 0,2 | 1,3 | 0,7 | 0,5 | 2,0 | 1,2 | 0,6 | 5,1 | 2,8 |
| 8 | 0,2 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 1,6 | 1,1 | 0,4 | 4,2 | 2,3 |
| 9 | 0,2 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 1,8 | 1,1 | 0,3 | 3,1 | 1,7 |
| 10 + | 0,4 | 1,9 | 1,1 | 0,6 | 4,5 | 2,5 | 0,8 | 5,9 | 3,3 |
| Promedio | 0,2 | 1,3 | 0,8 | 0,7 | 2,9 | 1,8 | 1,1 | 8,1 | 4,6 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 2,1 | 1,4 | 1,8 | 6,4 | 4,1 |
| 1 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 2,3 | 1,6 | 1,6 | 5,6 | 3,6 |
| 2 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 3,5 | 2,3 |
| 3 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,4 | 1,5 | 0,9 | 0,9 | 3,2 | 2,0 |
| 4 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 2,4 | 1,5 |
| 5 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 2,1 | 1,3 |
| 6 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 1,7 | 1,1 |
| 7 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 1,4 | 0,9 |
| 8 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,3 | 1,3 | 0,8 |
| 9 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 1,0 | 0,6 |
| 10 + | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,2 | 0,7 | 0,5 | 2,3 | 1,4 |
| Promedio | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 2,8 | 1,8 |

Cuadro 28. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 8 (R1).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 1,3 | 10,9 | 6,1 | 3,4 | 14,4 | 8,9 | 3,4 | 25,4 | 14,4 |
| 1 | 1,1 | 6,9 | 4,0 | 2,2 | 9,8 | 6,0 | 2,4 | 15,2 | 8,8 |
| 2 | 1,2 | 3,7 | 2,5 | 1,5 | 6,5 | 4,0 | 1,8 | 6,5 | 4,2 |
| 3 | 1,2 | 3,7 | 2,4 | 1,6 | 6,6 | 4,1 | 1,9 | 5,9 | 3,9 |
| 4 | 1,1 | 3,7 | 2,4 | 1,7 | 6,8 | 4,3 | 2,1 | 5,4 | 3,8 |
| 5 | 1,1 | 4,6 | 2,8 | 1,5 | 6,6 | 4,0 | 1,5 | 7,6 | 4,6 |
| 6 | 1,0 | 5,6 | 3,3 | 1,3 | 6,6 | 3,9 | 1,0 | 9,8 | 5,4 |
| 7 | 0,8 | 3,8 | 2,3 | 1,0 | 5,1 | 3,0 | 1,0 | 7,0 | 4,0 |
| 8 | 0,7 | 2,1 | 1,4 | 0,7 | 3,5 | 2,1 | 0,8 | 4,4 | 2,6 |
| 9 | 0,5 | 1,8 | 1,1 | 0,6 | 2,9 | 1,7 | 0,6 | 3,2 | 1,9 |
| 10 + | 1,0 | 3,3 | 2,2 | 1,4 | 5,4 | 3,4 | 1,5 | 5,2 | 3,4 |
| Promedio | 1,0 | 4,6 | 2,8 | 1,5 | 6,8 | 4,1 | 1,6 | 8,7 | 5,2 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,4 | 1,2 | 0,8 | 1,1 | 4,4 | 2,8 | 2,3 | 7,9 | 5,1 |
| 1 | 0,4 | 1,0 | 0,7 | 1,1 | 3,9 | 2,5 | 1,9 | 6,4 | 4,1 |
| 2 | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 2,9 | 1,9 | 1,2 | 4,1 | 2,6 |
| 3 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 2,6 | 1,7 | 1,0 | 3,8 | 2,4 |
| 4 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 2,1 | 1,3 | 0,8 | 3,2 | 2,0 |
| 5 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,7 | 1,1 | 0,7 | 2,7 | 1,7 |
| 6 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 2,3 | 1,4 |
| 7 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 1,9 | 1,1 |
| 8 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 1,4 | 0,9 |
| 9 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,2 | 1,2 | 0,7 |
| 10 + | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 2,1 | 1,3 | 0,8 | 3,1 | 1,9 |
| Promedio | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 2,2 | 1,4 | 0,9 | 3,5 | 2,2 |

Cuadro 29. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 9 (T0).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 1,5 | 4,1 | 2,8 | 2,3 | 6,2 | 4,3 | 2,2 | 12,4 | 7,3 |
| 1 | 1,3 | 3,3 | 2,3 | 1,7 | 4,8 | 3,3 | 1,5 | 9,8 | 5,6 |
| 2 | 1,4 | 3,2 | 2,3 | 1,5 | 4,4 | 3,0 | 1,0 | 9,3 | 5,2 |
| 3 | 1,1 | 3,3 | 2,2 | 1,3 | 3,8 | 2,6 | 0,7 | 8,5 | 4,6 |
| 4 | 0,9 | 3,6 | 2,2 | 1,1 | 3,6 | 2,4 | 0,4 | 8,6 | 4,5 |
| 5 | 0,7 | 4,0 | 2,4 | 0,9 | 4,6 | 2,7 | 0,3 | 9,6 | 5,0 |
| 6 | 1,0 | 4,4 | 2,7 | 1,1 | 5,3 | 3,2 | 0,3 | 10,5 | 5,4 |
| 7 | 0,7 | 3,0 | 1,8 | 0,7 | 3,3 | 2,0 | 0,8 | 6,6 | 3,7 |
| 8 | 0,4 | 1,9 | 1,2 | 0,4 | 1,7 | 1,1 | 1,0 | 3,6 | 2,3 |
| 9 | 0,2 | 1,4 | 0,8 | 0,2 | 1,6 | 0,9 | 0,5 | 2,6 | 1,6 |
| 10 + | 0,0 | 2,1 | 1,1 | 0,0 | 3,1 | 1,5 | 0,0 | 4,0 | 2,0 |
| Promedio | 0,9 | 3,1 | 2,0 | 1,1 | 3,9 | 2,5 | 0,9 | 7,8 | 4,3 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,4 | 1,2 | 0,8 | 1,1 | 2,5 | 1,8 | 2,0 | 7,7 | 4,8 |
| 1 | 0,3 | 1,1 | 0,7 | 1,0 | 2,2 | 1,6 | 1,5 | 6,9 | 4,2 |
| 2 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 5,4 | 3,1 |
| 3 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 1,4 | 1,0 | 0,8 | 4,3 | 2,5 |
| 4 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 1,3 | 0,9 | 0,7 | 3,6 | 2,1 |
| 5 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 1,2 | 0,7 | 0,5 | 3,1 | 1,8 |
| 6 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 2,4 | 1,6 |
| 7 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 2,0 | 1,3 |
| 8 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 1,7 | 1,1 |
| 9 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 0,7 |
| 10 + | 0,0 | 0,5 | 0,3 | 0,0 | 1,3 | 0,6 | 0,0 | 2,2 | 1,1 |
| Promedio | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 1,3 | 0,9 | 0,8 | 3,7 | 2,3 |

Cuadro 30. Cantidad de cobre, cinc y boro (g/ha) en el tronco según altura, para el tratamiento 12 (T1).

| Madera | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 1,0 | 8,5 | 4,8 | 1,2 | 7,0 | 4,1 | 5,0 | 20,0 | 12,5 |
| 1 | 0,7 | 7,0 | 3,9 | 1,1 | 6,2 | 3,7 | 4,0 | 16,6 | 10,3 |
| 2 | 0,6 | 6,4 | 3,5 | 1,3 | 6,4 | 3,9 | 4,1 | 15,5 | 9,8 |
| 3 | 0,7 | 6,4 | 3,5 | 1,1 | 5,8 | 3,4 | 3,4 | 14,4 | 8,9 |
| 4 | 0,7 | 6,4 | 3,6 | 0,9 | 5,3 | 3,1 | 2,8 | 13,5 | 8,1 |
| 5 | 0,6 | 4,4 | 2,5 | 0,7 | 3,5 | 2,1 | 2,6 | 10,7 | 6,6 |
| 6 | 0,5 | 2,6 | 1,6 | 0,5 | 2,0 | 1,2 | 2,3 | 8,0 | 5,2 |
| 7 | 0,5 | 2,1 | 1,3 | 0,5 | 1,9 | 1,2 | 1,5 | 5,5 | 3,5 |
| 8 | 0,5 | 1,7 | 1,1 | 0,5 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 3,6 | 2,3 |
| 9 | 0,4 | 1,6 | 1,0 | 0,5 | 2,2 | 1,4 | 0,8 | 3,2 | 2,0 |
| 10 + | 1,7 | 3,0 | 2,3 | 2,3 | 4,8 | 3,6 | 2,6 | 5,7 | 4,2 |
| Promedio | 0,7 | 4,6 | 2,6 | 1,0 | 4,3 | 2,6 | 2,7 | 10,6 | 6,7 |

| Corteza | Cobre | | | Cinc | | | Boro | | |
|------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|----------|
| | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio | Árb. chicos | Árb. grandes | Promedio |
| Altura (m) | | | | | | | | | |
| 0 | 0,3 | 1,6 | 0,9 | 1,1 | 3,3 | 2,2 | 2,2 | 8,4 | 5,3 |
| 1 | 0,3 | 1,3 | 0,8 | 1,1 | 3,3 | 2,2 | 1,8 | 7,3 | 4,6 |
| 2 | 0,2 | 0,9 | 0,5 | 0,9 | 3,0 | 1,9 | 1,2 | 5,6 | 3,4 |
| 3 | 0,2 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 2,8 | 1,8 | 1,1 | 5,0 | 3,1 |
| 4 | 0,1 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 2,4 | 1,5 | 0,9 | 4,1 | 2,5 |
| 5 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 2,0 | 1,3 | 0,8 | 3,6 | 2,2 |
| 6 | 0,1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 1,4 | 1,0 | 0,7 | 2,7 | 1,7 |
| 7 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,6 | 0,9 | 0,5 | 2,3 | 1,4 |
| 8 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 1,6 | 0,9 | 0,4 | 1,8 | 1,1 |
| 9 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 1,5 | 1,0 |
| 10 + | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,9 | 2,0 | 1,4 | 1,4 | 3,3 | 2,3 |
| Promedio | 0,2 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 2,2 | 1,4 | 1,0 | 4,1 | 2,6 |

Anexo 7

Resultados parciales.

Análisis de varianza para el contenido y cantidad de cada microelemento en la biomasa aérea.

Cuadro 31. Valores de calculado para fertilización postplantación (Factor A), fertilización preplantación (Factor B) e interacción entre factores (A x B) según el contenido de cobre en cada componente de la biomasa aérea.

| Variable | | N° repeticiones | Factor A g.l = 1 | Factor B g.l = 2 | Interacción g.l = 2 |
|--------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Hoja adulta | Tercio Superior | 5 | 3,82 | 3,16 | 2,75 |
| | Tercio Medio | 5 | 1,52 | 7,51** | 2,34 |
| | Tercio Inferior | 5 | 0,31 | 2,00 | 0,64 |
| Hoja juvenil | Tercio Inferior | 1 | 1,03 | 7,52 | — |
| Rama > 1 cm | Tercio Superior | 1 | 3,50 | 29,43* | — |
| | Tercio Medio | 2 | 1,96 | 0,24 | 0,43 |
| | Tercio Inferior | 2 | 12,35* | 1,70 | 0,78 |
| Ramilla | Tercio Superior | 2 | 3,68 | 2,68 | 0,50 |
| | Tercio Medio | 2 | 5,36 | 1,33 | 0,12 |
| | Tercio Inferior | 2 | 5,37 | 0,58 | 0,04 |
| Rama muerta | Tercio inferior | 1 | 22,73* | 6,92 | — |
| Madera | 10 m + | 2 | 0,77 | 0,27 | 3,47 |
| | 8 m | 2 | 0,00 | 1,16 | 7,81 * |
| | 6 m | 2 | 0,03 | 3,89 | 34,24 ** |
| | 4 m | 2 | 1,04 | 3,90 | 6,05 * |
| | 2 m | 2 | 0,17 | 3,21 | 2,99 |
| | 0 m | 2 | 2,98 | 1,13 | 3,22 |
| Corteza | 10 m + | 2 | 0,00 | 1,42 | 0,53 |
| | 8 m | 2 | 6,60 * | 0,86 | 0,95 |
| | 6 m | 2 | 2,37 | 0,86 | 0,02 |
| | 4 m | 2 | 1,59 | 0,26 | 1,17 |
| | 2 m | 2 | 0,97 | 0,83 | 0,10 |
| | 0 m | 2 | 0,07 | 2,10 | 1,75 |

*: $p < 0,05$

** : $p < 0,01$

Cuadro 32. Valores de *F* calculado para fertilización postplantación (Factor A), fertilización preplantación (Factor B) e interacción entre factores (A x B) según el contenido de cinc en cada componente de la biomasa aérea.

| Variable | | N° repeticiones | Factor A g.l = 1 | Factor B g.l = 2 | Interacción g.l = 2 |
|--------------|-----------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Hoja adulta | Tercio Superior | 5 | 0,13 | 1,99 | 1,41 |
| | Tercio Medio | 5 | 0,31 | 4,10 * | 1,14 |
| | Tercio Inferior | 5 | 0,26 | 0,04 | 1,31 |
| Hoja juvenil | Tercio Inferior | 1 | 0,18 | 0,05 | — |
| Rama > 1 cm | Tercio Superior | 1 | 4,66 | 0,10 | — |
| | Tercio Medio | 2 | 0,41 | 0,02 | 0,70 |
| | Tercio Inferior | 2 | 0,00 | 0,06 | 1,34 |
| Ramilla | Tercio Superior | 2 | 0,05 | 2,57 | 0,79 |
| | Tercio Medio | 2 | 1,41 | 3,29 | 2,51 |
| | Tercio Inferior | 2 | 0,95 | 0,47 | 1,01 |
| Rama muerta | Tercio Inferior | 1 | 0,10 | 1,08 | — |
| Madera | 10 m + | 2 | 2,75 | 1,50 | 0,73 |
| | 8 m | 2 | 0,24 | 3,75 | 3,21 |
| | 6 m | 2 | 0,05 | 6,75 * | 20,75 ** |
| | 4 m | 2 | 5,35 | 0,99 | 9,66 * |
| | 2 m | 2 | 0,00 | 5,08 | 1,80 |
| | 0 m | 2 | 1,54 | 3,35 | 8,62 * |
| Corteza | 10 m + | 2 | 1,90 | 5,08 | 3,91 |
| | 8 m | 2 | 0,16 | 0,77 | 0,46 |
| | 6 m | 2 | 0,15 | 0,92 | 0,47 |
| | 4 m | 2 | 1,03 | 0,30 | 0,96 |
| | 2 m | 2 | 0,90 | 1,61 | 0,06 |
| | 0 m | 2 | 0,75 | 2,21 | 1,39 |

*: $p < 0,05$

** : $p < 0,01$

Cuadro 33. Valores de F calculado para fertilización postplantación (Factor A), fertilización preplantación (Factor B) e interacción entre factores (A x B) según el contenido de boro en cada componente de la biomasa aérea.

| Variable | | N° repeticiones | Factor A g.l = 1 | Factor B g.l = 2 | Interacción g.l = 2 |
|--------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Hoja adulta | Tercio Superior | 5 | 0,97 | 3,08 | 0,22 |
| | Tercio Medio | 5 | 7,32 * | 0,25 | 1,01 |
| | Tercio Inferior | 5 | 10,77 ** | 1,38 | 0,14 |
| Hoja juvenil | Tercio Inferior | 1 | 6,93 | 0,23 | — |
| Rama > 1 cm | Tercio Superior | 1 | 0,05 | 1,73 | — |
| | Tercio Medio | 2 | 0,11 | 2,41 | 1,82 |
| | Tercio Inferior | 2 | 0,04 | 4,76 | 4,43 |
| Ramilla | Tercio Superior | 2 | 0,23 | 1,12 | 0,56 |
| | Tercio Medio | 2 | 1,91 | 2,87 | 0,83 |
| | Tercio Inferior | 2 | 0,00 | 8,05* | 3,17 |
| Rama muerta | Tercio Inferior | 1 | 0,01 | 0,80 | — |
| Madera | 10 m + | 2 | 0,27 | 0,04 | 1,32 |
| | 8 m | 2 | 0,34 | 0,05 | 2,00 |
| | 6 m | 2 | 1,00 | 0,04 | 0,26 |
| | 4 m | 2 | 2,15 | 0,38 | 0,54 |
| | 2 m | 2 | 1,36 | 0,31 | 2,69 |
| | 0 m | 2 | 6,39 * | 0,34 | 0,12 |
| Corteza | 10 m + | 2 | 0,34 | 1,35 | 2,40 |
| | 8 m | 2 | 7,72 * | 1,03 | 0,63 |
| | 6 m | 2 | 0,01 | 0,72 | 0,09 |
| | 4 m | 2 | 0,07 | 1,08 | 1,00 |
| | 2 m | 2 | 0,05 | 2,94 | 0,30 |
| | 0 m | 2 | 0,42 | 2,28 | 2,58 |

*: $p < 0,05$

** : $p < 0,01$

Cuadro 34. Valores de F calculado para fertilización postplantación (Factor A) y fertilización preplantación (Factor B) según las cantidades de cobre en cada componente de la biomasa aérea (sin repetición).

| Variable | Factor A | Factor B |
|----------------|----------|----------|
| | g.l = 1 | g.l = 2 |
| Hojas | 126,75** | 52* |
| Ramas | 1,71 | 90,33* |
| Ramas muertas | 1,23 | 24,08* |
| Total copa | 28,00* | 144,14** |
| Madera | 2,14 | 1,07 |
| Corteza | 48* | 37* |
| Total tronco | 2,46 | 1,22 |
| Cantidad total | 3,63 | 2,94 |

*: $p < 0,05$

** : $p < 0,01$

Cuadro 35. Valores de F calculado para fertilización postplantación (Factor A) y fertilización preplantación (Factor B) según las cantidades de cinc en cada componente de la biomasa aérea.

| Variable | Factor A | Factor B |
|----------------|----------|----------|
| | g.l = 1 | g.l = 2 |
| Hojas | 17,58 | 3,24 |
| Ramas | 15,99 | 1,70 |
| Ramas muertas | 2,16 | 2,07 |
| Total copa | 45,71* | 8,95 |
| Madera | 2,17 | 0,31 |
| Corteza | 19,60* | 2,48 |
| Total tronco | 3,91 | 0,42 |
| Cantidad total | 13,35 | 0,91 |

*: $p < 0,05$

Cuadro 36. Valores de F calculado para fertilización postplantación (Factor A) y fertilización preplantación (Factor B) según las cantidades de boro en cada componente de la biomasa aérea.

| Variable | Factor A | Factor B |
|----------------|----------|----------|
| | g.l = 1 | g.l = 2 |
| Hojas | 94,39* | 9,28 |
| Ramas | 1,33 | 6,59 |
| Ramas muertas | 4,64 | 3,04 |
| Total copa | 39,02* | 10,68 |
| Madera | 2,79 | 0,20 |
| Corteza | 19,66* | 4,31 |
| Total tronco | 3,32 | 0,22 |
| Cantidad total | 9,25 | 0,59 |

*: $p < 0,05$