

T 3086



UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL
EN PLANTACIONES DE
Eucalyptus globulus, Labill, ssp. *globulus***

Por

Alejandro Alfredo Mendez Moreira

FACULTAD DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACIÓN Y
BIBLIOTECA

TESIS presentada
como uno de los
requisitos para
obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2003

Tesis aprobada por:

DIRECTOR: _____

ING. AGR. LUIS SAYAGUEZ CASO

Fecha: _____

Autor: Alejandro Alfredo Mendez Moreira

TABLA DE CONTENIDO

	Pagina
PAGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES GENERALES DE EUCALYPTUS GLOBULUS SSP. GLOBULUS.....	2
2.2 FERTILIZACIÓN EN E. GLOBULUS SSP. GLOBULUS.....	6
2.2 EL BORO	10
3 MATERIALES Y METODOS.....	33
3.1 ASPECTOS GENERALES	33
3.2 SELECCIÓN DE SITIOS Y MARCACIÓN DE PARCELAS.....	33
3.2.1 Descripción de los sitios.....	34
3.2.2 Marcación de parcelas	46
3.3 MUESTREO Y ANÁLISIS FOLIAR.....	47
3.4 MEDICIONES DASOMÉTRICAS.....	47
3.5 APLICACIÓN DE FERTILIZANTES.....	48
3.6 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	49
3.6.1 Datos de crecimiento.....	49
3.6.2 Datos foliares	49
4 RESULTADOS.....	51
4.1 RESULTADOS DESCRIPTIVOS DE LOS SITIOS	51
4.1.1 Mediciones dasométricas.....	51
4.1.2 Análisis foliares	53
4.2 RESULTADOS DE CRECIMIENTO.....	56
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	60
4.3.1 Análisis de la varianza de los crecimientos.....	60
4.3.2 Análisis de la varianza de los datos foliares.....	64
4.4 RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES FOLIARES Y EL CRECIMIENTO.....	67
5 CONCLUSIONES	70
6 RESUMEN	71
7 ABSTRACT.....	72
8 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	73
ANEXOS	87

1 INTRODUCCIÓN

El *E. globulus* ocupa más de 100.000 ha en Uruguay, sobre una diversidad de materiales geológicos y una diversidad aún mayor de suelos, con topografías que van desde áreas completamente planas hasta las áreas más quebradas de las serranías.

El crecimiento y desarrollo de los *Eucalyptus globulus*, Labill, ssp. *globulus* Kirk plantados en Uruguay, ha sido significativamente inferior al esperado (Lubbe, 1992). El impacto económico de esto es muy alto y su explicación y solución a través de un proceso de investigación científica multidisciplinaria está sobradamente justificada por estos motivos.

La existencia de deficiencias de boro, detectadas en otros países y señaladas como causantes de una disminución significativa del crecimiento de *E. globulus* ssp. *globulus* en plantación, ha empezado a ser considerada como una posibilidad cierta por muchos productores en Uruguay.

Sin embargo, no se han realizado estudios científicos para detectar y cuantificar estas deficiencias.

Este estudio procura establecer, con rigor científico, la existencia de deficiencias de boro en algunos sitios representativos de las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* en Uruguay.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características nutricionales generales de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*

Zona de distribución Natural

La descripción del *Eucalyptus globulus*, Labill, ssp. *globulus* Kirk. se debe a J. S. Labillardiere a partir de un espécimen recolectado en el sudeste de Tasmania en 1792.

La zona de distribución natural es el sur de Australia (Victoria), Tasmania y las islas del estrecho de Bass. Se extiende entre las latitudes 37° a 43° 30' Sur, en localidades costeras y continentales (Krall, 1970).

Características de los suelos y clima

Se encuentra en altitudes desde el nivel del mar a 450 m.s.n.m. El clima es templado-frío uniforme, con un promedio de temperaturas máximas de 20-23° C y mínimas de 0-8° C con hasta 40 heladas al año; sub-húmedo o húmedo con precipitaciones del orden de los 1.400 mm anuales mayoritariamente invernales (Hall, Johnston y Marrytt, 1963; Boland *et. al.*, 1987 citados por Brussa 1994). Crece en suelos limosos arcillosos (Kelly, Chippeendale y Johnston, 1983, citados por Brussa, 1994). Se adapta a gran variedad de sustratos con buen drenaje, desde arenas costeras a suelos predregosos de serranías. Los principales factores limitantes del suelo son la insuficiente profundidad, el mal drenaje, la salinidad y la presencia altos contenidos de carbonatos (Jacobs, 1981). Se presenta en gran variedad de sustratos, si bien es muy común en zonas graníticas y arenosas. En general no se presenta en suelos calcáreos o fuertemente alcalinos ni en zonas mal drenadas (ENCE, 2002).

Plantaciones en el mundo de *Eucalyptus globulus*

El *E. globulus* ssp. *globulus* fue el primero de los eucaliptos ampliamente reconocidos fuera de Australia. Los éxitos iniciales lo llevaron a convertirse en la especie más extensamente plantada en el mundo. Hacia fines de 1979 había más de 800.000 ha de plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* en diversos países (Jacobs, 1981).

El *E. globulus* ssp. *globulus* ha sido plantado en una amplia variedad de suelos en diversos países, ya que en general para el desarrollo son más importantes limitaciones climáticas que las edáficas.

Los países donde existe la mayor concentración de plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus*, son: Australia, India, España, Portugal, Chile, Argentina, Sudáfrica, China, Uruguay. Estos datos se presentan en la tabla 2.1.

Actualmente, el eucalipto representa el 3,6% de la superficie forestal arbolada española (ENCE, 2000). Según CIEDU (2002), actualmente hay en España en torno de 550.000 ha de eucalipto, cuya distribución es la siguiente: Andalucía, 44 %; Galicia, 27%; Extremadura, 14%; Cornisa Cantábrica, 11%. Por provincias, destacan Huelva con un 40% del total de España, La Coruña, con un 15%, y Badajoz con un 10%. La principal especies plantada en España es el *E. globulus* ssp. *globulus*, con unas 325.000 ha.

Tabla 2.1 Extensión de las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* en varios países

País	Cantidad de hectáreas	FUENTES
Australia	200.000	DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FORESTRY – AUSTRALIA, 1997; Harper, Edwards y McGrath, 2000
España	325.000	CIEDU 2002
Portugal	500.000	CELPA, F: DGF/IFN, 2001
Chile	300.000	*
Argentina	50.000	Estimación para 2000, por SAGPYA (2002)
Uruguay	180.000	INIA, 2002

* Varias

Pereira *et. al.* (1996) se refiere a la superficie plantada de *Eucalyptus*, de acuerdo a resultados preliminares del inventario forestal realizado por la Asociación Portuguesa de Industrias de Pulpa (ACEL) y el Servicio Forestal Portugués, presentado en 1992 que el área de plantación de *Eucalyptus* está en el entorno de 500.000 ha. La cual representa el 6% del territorio de este país.

El *E. globulus* ssp. *globulus* hoy es un componente importante del paisaje portugués, ocupando 672 mil hectáreas, que corresponden a cerca de 7,5 % del territorio continental y a aproximadamente 20% de los bosques nacionales. La expansión de esta especie es relativamente reciente en Portugal, data de

mediados del Siglo XX y coincide con la instalación y crecimiento de la industria papelera (CELPA, 2002)

Alrededor del 90 % de las plantaciones de eucaliptos en Chile son de *E. globulus* ssp. *globulus*, que crece muy bien en algunas zonas de Chile. Chile tiene actualmente más de 350 mil hectáreas plantadas con *E. globulus* ssp. *globulus* (CORMA, 2002 ; INFOR, 2002).

La tasa de plantación anual se incrementó desde un promedio de 2000 ha / año a 30.000 durante 1990 (INFOR 1991, citado por Prado y Toro, 1996).

Entre las especies de árboles plantadas en India, el *Eucalyptus* es una de las principales. Según el informe State of Forest Report (1999), el área total de *Eucalyptus* ssp. plantados es de 13.609.100 ha, y se indica que las especies más comunes son el *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. grandis* y *E. tereticornis* .

La superficie plantada de Argentina estimada por el inventario realizado en el año 1998 (SAGPyA, 2002) incluye no solo las forestaciones incluidas en la cartografía, sino también las plantaciones cuyos árboles no alcanzaban un tamaño mínimo como para ser detectadas en las imágenes satelitales. Esta superficie ocupada con árboles pequeños fue estimada por el Consorcio tomando como base las estadísticas de plantación del Régimen de Promoción de Plantaciones Forestales de la SAGPyA.

Las provincias en donde se encuentran las mayor proporción de las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* son Corrientes, Entre Ríos y Buenos Aires. Se estima en más de 50.000 ha la superficie plantada ésta especie en el país (SAGPyA, 2002).

Australia tenía una área de la plantación forestal total estimada en pie de 1.042.600 hectáreas plantada a finales del 1994. Las plantaciones forestales de madera dura son una nueva industria que se expande en Australia Suroccidental donde se establecen plantaciones de *E. globulus*, ssp. *globulus* en tierras agrícolas. Las tasas de crecimiento en primera rotación son altas, en parte debido al uso anterior de fertilizantes y cultivo de especies de leguminosas anuales por los agricultores

En Tasmania y Australia Occidental, y en menor grado la Costa Norte y Gippsland Central, están plantadas las mayores extensiones plantaciones de *E. globulus*, ssp. *globulus*.

Los recursos de las plantaciones de madera dura de Australia son casi todos de especies de *Eucalyptus*. La especie dominante es el *E. globulus*, ssp. *globulus* (26%).

Se han establecido 130.000 ha de *E. globulus*, ssp. *globulus* en la década de 1990 en Australia suroccidental, con una tasa media de establecimiento de 26.000 ha/ año durante entre 1996 y 1999 (Shea *et al.*, 1998; Biggs y Bartle 1999; Love *et al.* 1999). Una rápida expansión similar está ocurriendo ahora en Australia sudoriental (Harper, Edwards y McGrath, 2000).

De estos trabajos se puede deducir que en el territorio australiano existían, al año 2001, más de 200.000 ha de plantaciones de *E. globulus*, ssp. *globulus*, establecidos en su mayoría en la década del 90 en varias zonas de Australia en donde el *E. globulus*, ssp. *globulus*, no crece naturalmente.

Plantaciones en Uruguay

El *E. globulus*, ssp. *globulus* es actualmente la especie del género *Eucalyptus* que ocupa mayor superficie en Uruguay, con aproximadamente 180.000 hectáreas plantadas. La mitad de ellas se encuentra en los departamentos de la región sureste (Florida, Lavelleja, Maldonado y Rocha). En estos cuatro departamentos, el *E. globulus*, ssp. *globulus* representa el 80 % del área forestada (INIA, 2002).

Desde 1991 la región sureste ha sido la más plantada con *E. globulus* ssp. *globulus*, habiéndose registrado hasta 1998 un crecimiento prácticamente lineal en la tasa de plantación anual. En las otras tres regiones han existido importantes períodos de plantación, sin embargo desde 1997-1998 el área plantada anualmente ha descendido marcadamente. Este hecho se debe a la combinación dos factores: la disminución del precio internacional de la pulpa y los problemas sanitarios registrados, principalmente en las regiones Norte y litoral (INIA, 2002).

Dentro de la región sureste, el Departamento de Lavelleja es el de mayor importancia para *E. globulus* ssp. *globulus*. Existen en este departamento 54.700 hectáreas que representan el 60% del área plantada con esta especie en la región. Esto probablemente se explique por una combinación de ventajas relativas en relación a aptitud para esta especie, distancia relativamente corta a Montevideo y el costo relativamente bajo de la tierra (INIA, 2002)

Aparición de deficiencias nutricionales en plantaciones

Existen algunos trabajos a nivel nacional que han probado la respuesta a la fertilización, en N P y K, pero no se ha encontrado mención a la aparición de síntomas de deficiencias en estos nutrientes (Curbelo, 1989). La sintomatología de deficiencias nutricionales en plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* citadas por Reali (2000), coincide con las presentadas en la bibliografía como correspondientes al boro (Dell, 1996). Sin embargo no se ha publicado hasta el presente, ningún estudio científico en el país que haya constatado la existencia de deficiencias de boro con o sin sintomatología, para esta especie.

Reali (2000), menciona que, además de los síntomas de deficiencia de boro observados, se han constatado niveles de boro en el suelo por debajo de un umbral mínimo de 0,6 ppm, fijado por varios autores.

2.2 Fertilización en *E. globulus* ssp. *globulus*

En todos los países donde se planta *E. globulus* ssp. *globulus* se realiza algún tipo de fertilización. La fertilización con boro, sin embargo, no es de aplicación generalizada.

Fertilización en España

En las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* realizadas en el suroeste español se observan en muchos sitios síntomas de deficiencias de nitrógeno (González *et al.*, 1985). En un estudio realizado en Huelva de fertilización con N, P y K se concluyó que la fertilización de N aumenta la concentración foliar, así como en el crecimiento. También con el P se obtuvieron similares resultados, mientras que la fertilización con K no aumentó la concentración foliar ni el crecimiento. En cuanto a la época de aplicación, se obtuvieron mejores resultados en primavera que en otoño (González *et al.*, 1985).

Las plantaciones que se encuentran en la cornisa Cantábrica (Galicia), normalmente, zonas de elevada precipitación, están sobre suelos de fuerte carácter ácido y baja fertilidad, por lo que es frecuente encontrar en ellas deficiencias nutricionales que reducen sus producciones. El P es el principal elemento limitante, tanto en Galicia (Gil-Sotres y Díaz-Fierros, 1982; Calvo de Anta, 1992) como en otras zonas de elevada producción forestal (McLaughlin, 1996; Stewart *et al.*, 1990). En este sentido, los ensayos de fertilización realizados en la Cornisa Cantábrica (Fernández *et al.*, 1998) muestran que las deficiencias de P se pueden reducir con el aporte de este elemento en el momento de la plantación, con el consiguiente efecto sobre la producción (González-Río *et al.*, 1997). También es frecuente encontrar deficiencias de Ca, Mg y K en estas plantaciones, como consecuencia del fuerte carácter ácido

del suelo (Calvo de Anta, 1992), y en el caso del K, debido a la presencia de minerales expandibles que fijan este elemento (Rubio y Gil-Sotres, 1997).

Se han realizado estudios de biomasa para determinar la cantidad de nutrientes que son extraídos en la misma, con el fin de reponerlos; en este ámbito Gonzalez *et. al.* (1985), concluye que, para mantener la fertilidad del suelo, sería suficiente reponer al finalizar el turno 200 kg de superfosfato de cal (18%) y 70 kg de nitrógeno en forma de nitrato de amonio cálcico.

Fertilización en Portugal

Como el área de plantaciones de Portugal ha sido incrementada, varias pruebas han sido realizadas para definir criterios en la adición de fertilizantes en plantaciones de *Eucalyptus* bajo suelos específicos y distintas condiciones climáticas, (Brito *et. al.*, 1966; Brito 1970a; 1970b; 1978; Brito y Goulao 1973a, 1973b, Pereira *et. al.*, 1989; Madeira y Pereira, 1990).

En el sureste de Portugal en 1966-67, en Luvisoles degradados Brito (1970b y 1978) realizó dos pruebas de fertilización en plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus*. Se aplicó 90-150 kg/ ha de fósforo, 61-175 kg/ ha de nitrógeno y 0-150 kg/ ha de potasio. El nitrógeno fue aplicado durante toda de la rotación (1966-77), mientras que el fósforo y potasio fueron aplicados antes de 1973. En 1972-73, también se aplicó 1-2 ton/ ha de carbonato de calcio. Finalizada la rotación en 1978, Brito concluyó que los tratamientos no habían afectado la mortalidad, que el potasio no tuvo efecto en algunos suelos, que la adición de nitrógeno y fósforo incrementaron la producción de madera en un 80-90%, que la aplicación de carbonato de calcio no afectó la producción de madera y que la aplicación de grandes cantidades de nitrógeno (400 kg/ ha) deprimió la productividad en las áreas con climas secos.

Fertilización en Chile

En un ensayo presentado por Calderón (1992), sobre preparación de sitio en *E. globulus* ssp. *globulus* comprobó que la aplicación de fertilizantes (75 g superfosfato triple; 158 g de Urea y 54 g de bórax 20% al plantar; 40% al año, 40% a los 2 años) produce mejoras en el crecimiento diametral como también en la altura y en la supervivencia. Los efectos son más beneficiosos cuando en conjunto se aplican herbicidas.

Álvarez (2002), indica que los suelos chilenos usados para forestar en general han experimentado un significativo o gran deterioro principalmente por procesos erosivos, lo cual da como resultado que estos hayan sido desprovistos de los macro y micronutrientes básicos para el crecimiento. Los elementos más

deficitarios son en nitrógeno, el fósforo y el boro. Debido a esta deficiencia se origina la necesidad de usar habitualmente mezclas de estos elementos.

El fósforo es un elemento crítico en los suelos chilenos y se debe aplicar una dosis inicial, especialmente en suelos de zona costera y suelos provenientes de cenizas volcánicas recientes. En ambos casos los niveles de aluminio intercambiable son muy altos y mantienen una alta fijación de este elemento. Un elemento básico es el boro que se aplica en dosis de 2-3 gramos por planta. La fuente es boronatrocalcita. Dado el régimen hídrico de lluvias invernales y presencia veranos secos (5-7 meses), la deficiencia de boro se incrementa en el período estival y por lo tanto la fertilización con este elemento es de carácter eminentemente preventivo.

La decisión de fertilizar depende del análisis de suelos, del tipo de suelo y de los análisis foliares cuando se realizan en plantaciones de más de un año de edad. De modo que en algunos suelos más arenosos se privilegia la aplicación de nitrógeno sobre el fósforo, en suelos de cenizas volcánicas se aplica fósforo y boro, y en suelos graníticos se aplica solo boro.

En un estudio de biomasa realizado por, efectuado en Chile para estimar los requerimientos de NPK en *E. globulus* ssp. *globulus* en los 3 primeros años, Suárez y Bonomelli (1996), determinaron que existe una relación directa entre la acumulación de nutrientes y la acumulación de biomasa. No obstante, en cuanto a la demanda de nutrientes, ésta disminuye por unidad de biomasa a medida que pasa en tiempo. Por lo que, en el caso del N éste, al tercer año, disminuye a un 35 y 40 % del requerido en el primer año, y la misma tendencia se mantiene con el P y el K. Después la demanda por unidad de biomasa tiende a estabilizarse.

En el trabajo anteriormente mencionado se observa que los diferentes sitios acumulan diferentes volúmenes de biomasa, por lo que tienen distintos requerimientos. Sin embargo, se observaron coincidencias con otros autores que realizaron este mismo tipo de trabajo, cuando se consideran los kg de N, P y K requeridos por tonelada de biomasa. Los resultados obtenidos en este trabajo son que para el primer año los requerimientos de N son desde 15,6 a 19,4 kg / ton de biomasa, de 2,2 a 1,4 kg de P por tonelada de biomasa y de 6,5 a 11,9 kg / ton de biomasa de K (Suárez y Bonomelli, 1996).

Toro *et al* (1999) realizaron un ensayo sobre *E. globulus* ssp. *globulus* en los 3 primeros años, donde compararon el comportamiento de dos tratamientos: uno con control de malezas pre y post plantación y otro que recibió dos controles adicionales de malezas, junto con una fertilización consistente en 100 g de urea y 100 g de superfosfato triple. Los resultados obtenidos en este estudio,

muestran diferencias muy amplias. Al tercer año de la plantación, el tratamiento fertilizado superó al testigo en un 23% en diámetro (dap) y 13% en altura; en peso seco aéreo, la respuesta fue de 73% y en volumen 72%. Estos incrementos, se reflejaron en la productividad al lograr una ganancia en peso seco del fuste de 6,7 ton por ha.

Al desarrollar una mayor biomasa, las plantas que han recibido una fertilización más intensiva, extraen cantidades mayores de nutrientes que las pertenecientes al control. Sin embargo, están en situación de retornar al suelo un alto porcentaje de los nutrientes extraídos (Toro *et. al.* 1999)

Fertilización en Uruguay

La práctica de la aplicación de fertilizantes en el establecimiento de las plantaciones de forestales es común en Uruguay. Específicamente en *E. globulus* ssp. *globulus*, no hay muchas experiencias locales que evalúen el efecto de la fertilización. Una de ellas fue realizada por Curbelo (1989), donde valoró el efecto de la fertilización con NPK, a la plantación, en suelos con dos tipos de uso anterior (chacra vieja y chacra nueva). De los resultados obtenidos en este estudio, se pueden hacer una serie de afirmaciones. En cuanto a los tipos de suelos, se observó que debido al uso anterior la chacra vieja se tuvo un crecimiento menor en altura de un 46% al primer año, respecto al suelo que no tuvo un uso anterior (chacra nueva). En cuanto a las fertilizaciones, se constataron respuestas significativas en los tres nutrientes aplicados, aunque para el fósforo la respuesta a la fertilización disminuyó al segundo año de medición, y en el potasio se diluyó el efecto de la fertilización en el mismo período de medición. También concluyó que entre el N y P no existieron efectos sinérgicos, por que no se observaron mejores respuestas con el agregado en conjunto, que por separado.

Fertilización en Australia

En la preparación estándar del sitio en New South Wales, la fertilización consiste en aplicar 19g de nitrógeno y 23g de fósforo por árbol, aunque mayores crecimientos se pueden obtener con mayores dosis de fertilizantes y tratamientos culturales más intensivos (Cromer 1996, Birk y Turner, 1992). Similares técnicas culturales y de fertilización se utilizan en varios estados australianos.

Recomendaciones de adición de nutrientes han sido desarrolladas por una compañía en Victoria para especies de *Eucalyptus*, as cuales consisten en la aplicar, alrededor de 150 kg/ ha de N y 50-75 kg/ ha de P en todos los sitios y la adición de 75 kg/ ha de K en suelos (duplex) (con un horizonte arcillosos). La

cantidad de P aplicado depende del anterior uso del suelo, pudiéndose dividir la dosis en dos aplicaciones: una a la plantación y otra a los 15 a 21 meses (Cromer 1996, Turvey 1980) l.

En Tasmania la fertilización es aplicada enseguida de la plantación, y las cantidades varían en un rango de 10-25 g de nitrógeno y fósforo por planta, según la preparación del sitio y la remoción de los restos de cosecha del bosque nativo.

Las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* que se establecen en el oeste de Australia, son casi todas en sitios de ex-pasturas. Los suelos se han mejorado por el establecimiento de leguminosas y frecuentes aplicaciones de superfosfato. Además son aplicados 17,5 g de N 7,6 g de P, al momento de la plantación (Cromer 1996, Turvey 1980).

Fertilización en China

La preparación del sitio en *E. globulus* ssp. *globulus* es intensiva en China y comúnmente se le denomina ingeniería de forestación. En la provincia de Yunnan (Wu and Zhao, 1989) la fertilización consiste en la aplicación de 5-10 kg de residuos urbanos y de 200-300 g de superfosfato por planta. Otras especies de *Eucalyptus* plantadas en China han respondido a la fertilización, con N, P y K especialmente cuando son, aplicados en conjunto. Los fertilizantes comúnmente usados son urea (46% N), superfosfato (6-8% P), KCl (50-54% K) y fertilizantes compuestos de nitrógeno (10-15%), fósforo (6-8%) y potasio (8-12%) (Huorang, W. y Wenlong, Z., 1996).

2.2 El Boro

Generalidades

El Boro es el único oligoelemento que no es un metal. No se encuentra libre en la naturaleza porque, como el carbono, tiene la capacidad de formar enlaces covalentes estables. El boro aparece en concentraciones muy bajas en muchos materiales madres de los suelos, y es un hecho que muchos suelos no tienen la capacidad de proporcionar el boro en forma adecuada y continua a los vegetales, por lo que es el micronutriente que más limita comúnmente los rendimientos de las cosechas agrícolas (USDA, 2001).

En la generalidad de los cultivos el boro es una deficiencia común (Goldbeg, 1993). En *Eucalyptus*, la deficiencia de Boro ha sido objeto de estudio en varios países de (Savory, 1962; Stone, 1990, Vale *et. al.* 1996). Su ocurrencia parece ser tan común que Shorrocks (1989) no tiene dudas en clasificar las plantas del

género *Eucalyptus* como de las más sensibles a la deficiencia de este nutriente.

El ciclo del boro

En el ciclo biogeoquímico natural de boro, existen varios reservorios principales que se pueden ver en la figura 2.1. También la biomasa contiene parte importante del boro existente en el sistema, variando según las características de la misma. Las entradas al sistema se producen a través de la meteorización de los minerales del suelo y acceso desde el océano vía la atmósfera y lluvia (Higston, 1986).

El boro en el aire

En el océano por la acción del viento se forma rocío en forma de aerosol, que es arrastrado con la condensación y llevado por las nubes. Las sales formadas pueden contener boro y cloruro en proporción similar a las concentraciones existentes en el agua de mar (boro/ cloruro en una proporción de $2,3 \cdot 10^{-4}$). Si estos aerosoles son la fuente de sales en la lluvia y no hay separación de los componentes en la superficie del mar o en la atmósfera, pueden usarse las concentraciones del cloruro en la lluvia para estimar la entrada de boro a los bosques por esta vía (Higston, 1986). Algunos investigadores (Gast y Thompson, 1959; Nishimura y Tanaka, 1972) han encontrado boro en la lluvia en concentraciones superiores a la de los aerosoles de sales de mar y ellos atribuyen esto a la evaporación de ácido bórico del océano.

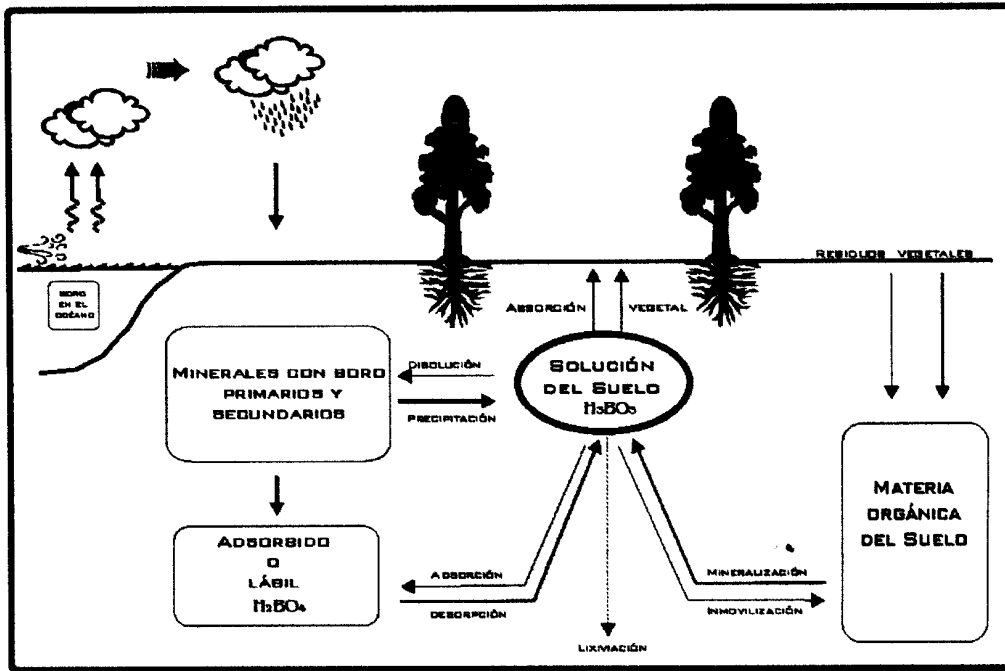


Figura 2.1. Ciclo del Boro (adaptado de USDA, 2001).

Higston (1986), realizó un estudio sobre el ciclo bioquímico del boro en los bosques nativos de *Eucalyptus* en el sur-oeste de Australia. Obtuvo resultados variables para las concentraciones del boro y para las proporciones boro/cloruro. Si bien el promedio de la relación boro/cloruro en el agua de lluvia es el mismo para toda la región arbolada del sur-oeste de Australia Occidental, las concentraciones de cloruro varían geográficamente y pueden usarse para estimar las concentraciones del boro (Higston y Gailitis, 1976). Así la proporción de boro incorporado por la lluvia puede ser calculado. Higston (1986) en un bosque de nativo *E. marginata* en Australia Occidental, con una lluvia media anual es 1300 mm, la concentración de cloruro promedio fue de 7 mg/l; por lo tanto, con la supuesta proporción boro / cloruro de $2,3 \cdot 10^{-4}$, la concentración estimada de boro en la lluvia era 1,61 ug/l y la entrada calculada fue 21 g/ha por año. De forma similar en otro bosque nativo de *E. diversicolor* en la misma región australiana, donde cae el mismo volumen medio de precipitación anual, la concentración media de cloruro es 10 mg/l, por consiguiente la concentración del boro estimada en la lluvia es 2,3 ug/l y entonces la tasa de ingreso de boro por esta vía es de 30g/ha por año.

El boro en el agua

En los riachuelos de las cuencas arboladas del sur-oeste de Australia se obtuvieron promedios en la concentración del boro de 22 ug/l lo cual es acerca del doble del valor de 10 ug/l citado por Harder (1978) para el promedio de los sistemas de ríos del mundo.

Para comparar, Wells y Whitton (1977), encontraron un promedio de 20 ug/l en riachuelos de Nueva Zelanda, y Ahl y Jensson (1972) encontraron un promedio de 31 ug/l (media de 12 ug/l) en muestras de agua dulce en Suecia. La proporción de boro/ cloruro encontrada en el agua de los riachuelos del sur-oeste de Australia Occidental fue de $1,8 \cdot 10^{-4}$, está cerca de la proporción en el agua de mar.

Esto refleja probablemente que en los riachuelos de Australia Occidental la mayor contribución de boro soluble proviene del ingreso por el agua de lluvia. La similitud en las proporciones de boro/ cloruro en el agua de lluvia y en los riachuelos también sugiere que estos elementos tengan una movilidad similar en el ciclo del hidrológico (Higston, 1986).

El boro en el suelo

El boro total presente en los suelos varía generalmente en el rango 2-100 mg/kg, pero sólo una fracción pequeña de esto (que raramente excede el 5%) se encuentra en formas asimilables por las plantas. En los valores de pH de los suelos más comunes, la forma predominante del boro en esa solución es de ácido no disociado (H_3BO_3), que se encuentra en equilibrio con el boro adsorbido en los óxidos (frecuentemente hidratados) de hierro y aluminio, en minerales de arcilla (principalmente el illitas), los hidróxidos del magnesio y en la materia orgánica (Keren y Bingham, 1985). En este sentido el cambio de equilibrio depende de las fluctuaciones de los valores del pH, y fácilmente se concluye que la reacción del suelo es uno de los factores que tienen mayor influencia en la disponibilidad de boro para las plantas. La energía de retención del boro adsorbido es intensificada por el aumento de pH, alcanzando su punto máximo en la región ligeramente alcalina (pH 7-8); sobre estos valores, bastante raros en los suelos cultivados, se verifica una disminución de la energía de retención (Keren y Bingham, 1985). Por tal motivo, es frecuente la ocurrencia de deficiencias del boro después de encalar suelos ácidos (Peterson y Newman, 1976, citado por Vale, 1994).

Si, conforme como ya fue referido, las plantas toman el boro directamente de la solución del suelo, es lógico concluir que cualquier factor que limita su actividad en esta solución puede llevar a un estado de deficiencia. Dentro de los factores limitantes pueden referirse los siguientes:

- La pobreza natural de boro en algunos suelos, como herencia de la respectiva roca madre. Los tenores en las rocas ígneas básicas tienden a ser inferiores que en las rocas ígneas ácidas y éstas a su vez inferiores que las rocas sedimentarias (Maurice, 1966).
- Un aumento de pH, debido a la aplicación de cal.
- Los bajos contenidos de materia orgánica en el suelo.
- La textura del suelo. En igualdad de condiciones de los restantes parámetros, los suelos con una textura gruesa en las regiones húmedas contienen menos de boro disponible que aquellos con la textura fina, por consiguiente la deficiencia es más común en éstos. Esta comprobación se relaciona a la migración de boro en el perfil por la acción de agua, que es más rápida en la textura más gruesa (Wear y Patterson, 1962). De acuerdo con esto, es bastante difícil mantener niveles adecuados de boro disponible en los suelos de textura arenosa. El problema es más complicado aún cuando los referidos suelos son ácidos, debido a su menor capacidad para retener el boro por adsorción. En estos casos es la materia orgánica que actúa como principal reservorio de boro para la absorción por las plantas (Miljkovic *et. al.*, 1966).

Biggar y Fireman (1960), verificaron que la retención de boro por el suelo aumenta en la medida que la textura va siendo cada vez más fina. Gupta (1968), observó que el contenido de B total fue menor en suelos de textura gruesa y mayor en suelos de textura fina, indicando que las partículas de arcillas absorben el B. De esta manera, a pesar que los suelos arcillosos contiene más B, este está adsorbido e indisponible para las plantas agrícolas. A su vez Pinheiro (1999), trabajando con *E. camandulensis* de 22 meses de edad, obtuvo mejores respuestas en la fertilización con boro en suelos con textura arenosa, ya que éste quedó más disponible pues se moviliza mejor en el suelo y no es adsorbido tan intensamente. Habiendo muchas lluvias se puede perder el boro por lixiviación, conforme fue dicho por Kubota *et. al.* (1948) y Gupta (1968).

Según Pinheiro (1999), las plantas de *E. camaldulensis* son más susceptibles a la sequía en la edad de 22 meses y dosis más elevadas son necesarias en los suelos arcillosos, en cambio en los suelos arenosos 2,2 g por planta resuelven el problema.

Por no ser fácilmente translocable dentro de las plantas, éstas requieren un suministro continuo y adecuado de boro. Como la mayoría del boro disponible está en la capa arable, asociado con la materia orgánica, cuando esta capa se seca, las plantas lo absorberán principalmente de las zonas más profundas y menos ricas. Como la tasa de transpiración será probablemente más reducida en períodos de seca, debido a los menores tenores de agua en el suelo, se

crean las condiciones en que la deficiencia del boro se vuelve evidente.

Por las razones antes mencionadas, es de esperar que la deficiencia ocurra en gran escala, sobre todo en las plantas más sensibles, en períodos de seca que siguen a períodos de lluvia intensa.

El boro en el suelo existe típicamente en cuatro ubicaciones mayores en el suelo y es rápidamente el reciclado en la materia orgánica y los minerales del suelo (Figura 2.1). En la solución del suelo, el ácido ortobórico (H_3BO_3) se comporta como un anión y por consiguiente el boro no es retenido por las partículas del suelo. Por esto es lixiviado rápidamente de la solución del suelo bajo altas precipitaciones o condiciones de irrigación, de forma similar a otros aniones como el fosfato y el nitrato. Suelos de textura gruesa que son pobres en el contenido de materia orgánica son aun más vulnerables porque poseen menos sitios de intercambio para la retención del boro. Además, la disponibilidad de boro disminuye con pH creciente, particularmente en las tierras calcáreas y arcillosas.

Los granitos y los gneisses graníticos muestreados en la placa australiana Occidental en el Valle Belka (Bettenay *et. al.*, 1962) contenían un promedio de 4,7 +/-1,7 ug de boro. Los valores de las muestras para boro están dentro del rango citado para las piedras graníticas alrededor del mundo, es decir 1-50 ug/g con una media para el boro de 12 ug/g (Harder 1978).

Las cantidades de boro soluble en agua caliente a una profundidad de 90-100 centímetros fue de un rango de 7-8 kg/ ha en el suelos rojos y suelos podzolicos amarillos en el bosque nativo de *E. marginata* y de 2 kg/ ha para suelos podzolicos lateriticos en el bosque de *E. diversicolor*. Estos valores se comparan con 2-3 kg/ha en la biomasa sobre el suelo de árboles en el sitio del bosque de *E. diversicolor* y 2 kg/ ha en el sitio *E. marginata* (Higston, 1986).

Correlaciones significativamente positivas fueron encontradas para el boro soluble en agua caliente y el carbono orgánico en los suelos de los bosques de eucalipto nativos citados por Higston (1986). Este autor sugiere que la materia orgánica es una de las fuentes principales de boro disponible en estos suelos. Gupta (1968), llegó a la misma conclusión en estudios de boro en suelos muestreados en Nova Scotia y New Brunswick, en América del Norte.

Boro en el mantillo

En bosques nativos de eucaliptos en el suroeste de Australia, estudiados por Hingston (1986) las concentraciones de boro en el mantillo (compuesto de mezclas de hojas caídas, ramas, corteza y otras partes de la planta), son más

bajas que en las hojas frescas sobre el piso y en hojas senescentes caídas recientemente.

Sin embargo, la capa del mantillo en el piso del bosque, contenía más del 10% del boro presente en la forma soluble en agua caliente, a 1m profundidad del suelo del mismo sitio. El mantillo por consiguiente puede ser un almacén importante para este elemento. Aunque el boro se retiene en los residuos orgánicos y en el suelo de la superficie, su solubilidad indica que la lixiviación natural y los procesos de descomposición, movilizan con el tiempo el boro del mantillo (Hingston, 1986).

Asimilación y metabolismo del boro

Se admite que las formas solubles son transportadas hacia la superficie de las raíces por flujo de masa y allí son absorbidas de una forma esencialmente pasiva, directamente de la solución del suelo, a través de la corriente de transpiración (Keren *et. al.*, 1985).

Conocer si la absorción es activa o pasiva ayuda a: predecir el efecto del ambiente en la absorción de boro; definir como el boro debe ser aplicado para fertilizar y finalmente determinar porqué ocurre una deficiencia y explicar diferencias entre especies para responder a problemas de deficiencia de boro en suelos (Brown, 1998).

Existen varios aspectos relacionados al metabolismo del boro que necesitan de mayores investigaciones para poder entender su complejidad. Según Brown (1998), son evidentes varios aspectos a saber:

- la deficiencia de boro inhibe rápidamente el crecimiento meristemático, incluyendo el reproductivo;
- la necesidad de boro es mayor que cualquier micronutriente, y su utilización por las plantas aumenta las necesidades de las células por hierro, manganeso, cobre, níquel, molibdeno y zinc;
- el ácido bórico no-disociado (H_3BO_3) predomina en la faja de pH de 4 a 7 y es la única forma de boro utilizada por las plantas;
- la absorción de boro es extremadamente afectada por la composición del suelo, lo que interfiere en su absorción por las plantas.

Existe todavía mucho desconocimiento sobre la absorción de boro por las plantas. Un experimento *in vitro* indicó la absorción del boro como un proceso pasivo, no-metabólico, determinado por transpiración y concentración del nutriente en la solución del suelo. Sin embargo, esos resultados no son consistentes porque no fueron confirmados en condiciones de campo.

La absorción pasiva de boro cuenta con el flujo de masa de la solución del suelo a la raíz recientemente formada que tiene gran capacidad absorbente. Después de la absorción, se entrega el boro a lo largo de la planta por el flujo del xilema. Debido a que la presión de la raíz es un factor relativamente menor, la habilidad de los tejidos de obtener el boro es en su mayor parte función de su demanda de transpiración.

Los meristemas, brotes y frutos son los tejidos que necesitan más el boro, pero a menudo es depositado en las hojas jóvenes que transpiran el agua a tasas muy altas. No transpirando los órganos, deben confiar en presión de la raíz que es relativamente débil y a veces sólo disponible por la noche. Altas tasas de transpiración en condiciones ambientales muy secas pueden llevar el boro a lugares donde es menos necesitado, mientras que a bajas tasas de transpiración en condiciones de humedad alta, se reduce la absorción del boro en general. Así que, minimizar el stress hídrico de la planta es extremadamente importante para prevenir la deficiencia del boro (USDA, Forest Nursery Notes 2001).

Movilidad en la planta

El boro, como el calcio, es inmóvil una vez que se asimila y no puede ser los translocado de los tejidos más viejos a los meristemas de las plántulas. Así, el crecimiento de nuevos tejidos es dependiente de un suministro continuo de boro del suelo.

Como el boro no puede ser translocado dentro de las plantas, las partes más jóvenes son primeras en ser afectadas. Los niveles de este elemento presentes en las plantas de *E. globulus* ssp. *globulus* son generalmente del orden de 15-40 mg/kg de materia seca, y su deficiencia tiene efectos depresivos significativos, no sólo con respecto a la cantidad de biomasa producida, sino también a su calidad, (Vale *et al.*, 1994).

Althoff *et. al.* (1991), señalan que la intensidad de muerte apical producida por la deficiencia de boro, cambia con la especie y con la etapa de crecimiento del bosque. Indican que esa diferencia en la intensidad de la muerte apical entre plantas de diferente especies de eucaliptos puede reflejar una exigencia nutricional diferenciada de boro.

Sin embargo, la diferencia en la intensidad de la muerte apical entre especies también puede estar relacionada con la translocación del B dentro de la planta. El B es considerado, tal como el Ca, inmóvil o móvil solamente en una extensión limitada en el floema (Raven y Dugger 1980, citados por Mengel y

Kirkby, 1982). Brown (1998), informa que en muchas plantas o especies el boro es translocado internamente por el floema, tornando la especie más eficiente en el uso del micronutriente.

El rol en la Nutrición de la Planta

Después de varias décadas de investigación de las funciones bioquímicas del boro en las plantas su acción específica todavía no está bien definida o aclarada. No obstante, se sabe que tiene una influencia en el metabolismo de hidratos de carbono, en la actividad enzimática y hormonal, en la estructura y función de la membrana y en la biosíntesis de ácidos nucleicos (Pilbeam y Kirkby, 1983; Lovatt y Dugger, 1984).

La esencialidad del boro está particularmente marcada a nivel de los meristemas, sobre todo en los meristemas apicales.

Además es considerado, junto con el calcio, un "cemento" en la formación de la pared celular, y ha sido relacionado con el ensachamiento y la división celular, con el metabolismo de los ácidos nucleicos, de carbohidratos y de proteínas (Marschner, 1986). Hay evidencias crecientes del efecto del boro sobre la membrana plasmática (Dugger, 1983). Roldán *et. al.* (1992) relataron que el boro ejerce efecto directo o indirecto en las propiedades de la membrana vía regulación del transporte de protones.

Cuando el boro está en niveles de deficiencia, la división celular no llega a completarse y las paredes longitudinales de células se quedan anormalmente cortas. Esto lleva a la expansión irregular e incompleta de los tejidos foliares, con las consecuentes irregularidades ya antes mencionadas, y al menor alargamiento de los entrenudos del tallo. Los meristemas de los ápices, que no acompañan los rebrotes de las raíces, pueden incluso morir en el futuro por falta de consolidación de las paredes celulares, con la pérdida consecuente de dominancia apical de la parte aérea y desarrollo atrofiado del sistema radicular. La consecuencia más inmediata de esta atrofia es la disminución del volumen de suelo explorado por las raíces y se traduce en una menor absorción agua y nutrientes. Por este motivo, no es raro observar que las plantas anormales también exhiban síntomas de stress hídrico en los períodos de mayor sequedad.

Además de la degeneración de los tejidos meristemáticos, la deficiencia del boro causa desagregación de las paredes celulares del parénquima, especialmente a nivel de la laminilla media. Por otro lado, se constata que hay la acumulación de sustancias fenólicas que alcanzan niveles tóxicos en las células en crecimiento, y disminuye la formación de lignina. De este modo, se

explicarían las manchas amarillentas o parduscas en la zona del *cambium* (células muertas) y la mayor fragilidad de los rebrotes en las plantas con las anomalías, (Vale *et al.*, 1994).

La deficiencia del boro también reduce la estabilidad de membranas celulares, causándoles el escape de aminoácidos y azúcares. Este efecto, y el hecho que el boro ayuda a producir componentes fenólicos tóxicos a los parásitos fúngicos, explica por qué las deficiencias debilitan las defensas físicas y químicas de la planta (USDA, 2001).

La mayor exigencia de boro por las dicotiledóneas en relación a las monocotiledóneas se debe, probablemente, a la mayor presencia de compuestos en la forma de ésteres cis-borato estables en sus paredes celulares (Marschner, 1986). Gupta (1979), considera que las especies pueden diferenciarse entre sí por su capacidad de absorción de boro y, por consiguiente, en la exigencia diferenciada del nutriente.

Aunque el boro no es un componente estructural de tejidos de la planta, es esencial para las numerosas reacciones metabólicas. El boro participa en la división celular y alargamiento; en la lignificación de paredes celulares; en la translocación del nitrógeno, fósforo, azúcares, y almidones; en la síntesis de aminoácidos y proteínas; y en el metabolismo de los hidratos de carbono. La polinización y la fructificación son afectadas así como la formación del nódulo en las leguminosas. El boro está en la mayoría de las funciones críticas involucradas en el desarrollo y crecimiento de nuevas células y por consiguiente, uno de los primeros síntomas visuales de deficiencia del boro es la cesación de actividad del meristematica, seguida por la muerte de las hojas nuevas (USDA, 2001).

Boro en la biomasa

La importancia de la parte biológica del ciclo del biogeoquímico es ilustrada por las cantidades de boro almacenadas en la biomasa sobre el suelo de los árboles, en relación a la almacenada en suelos. En el sitio del bosque de *E. marginata* estudiado por Hingston (1986), la cantidad de boro en los árboles era casi igual, a la forma soluble en agua caliente en el suelo a 1m de profundidad. En los sitios de bosque de *E. diversicolor* los árboles contuvieron alrededor de un tercio del boro en la forma soluble en agua caliente del suelo a 90 centímetros de profundidad.

Correlaciones muy significativas entre el boro soluble en agua caliente contenido en el carbono orgánico de los suelos sugiere la mayoría del boro está asociado con materia orgánica o los componentes microbianos del suelo. En el

sitio de *E. diversicolor* donde se sabía que los árboles tenían 36 años (Hingston *et. al.*, 1979), el índice medio de acumulación de boro en la biomasa de sobre el suelo fue de 54 g/ha por año. Esta tasa es del mismo orden que las estimadas por entrada en la lluvia (30 g/ha por año).

Similares cálculos no son posibles para otros sitios porque la tasa de acumulación de biomasa es desconocida. Para el bosque nativo de *E. marginata*, se han estimado las salidas de boro en el agua de riachuelos (Sharma *et. al.*, 1980) a un valor medio de 22 g/ha por año. Cuando esto es comparado con la entrada por el agua de lluvia de aproximadamente 21 g/ha por año, parece que entradas y salidas están en equilibrio. La importancia de boro en el agua de lluvia para la absorción a corto plazo por el bosque es por consiguiente una pregunta abierta.

En el períodos largos, sin embargo, está claro que el boro se acumula en la biomasa y que se retiene preferencialmente en cloruros en los árboles y suelos.

En el estudio realizado por Sgarbi *et. al.* (1999) sobre el crecimiento y la producción de biomasa de un clon de *E. grandis* x *E. urophylla* en condiciones de deficiencia de macronutrientes, B y Zn, donde se omitió uno a uno los nutrientes, se observó una reducción en la producción de materia seca en ausencia de B. Esta reducción se debe a que el boro participa de los procesos de absorción iónica, transporte de carbohidratos, síntesis de lignina y celulosa, síntesis de ácidos nucleicos y de proteínas. En tanto todavía no se conoce compuestos en reacciones metabólicas en que el B está presente lo que se sabe es que en su ausencia la planta no es capaz de completar su ciclo (Malavolta *et. al.* 1997).

Resultados semejantes fueron obtenidos por Rocha Filho *et. al.* (1978) en *E. urophylla*, donde observaron una reducción del 61% de la producción de la materia seca en comparación a la obtenida con el tratamiento completo. También Rocha Filho *et. al.* (1979) y Silveira (1996) observaron respectivamente una reducción del 29 % de la producción de la materia seca en *E. grandis* y de 45% en *E. citriodora* cuando se omitió B en relación a una dosis de 0,5 mg de B por litro. En conformidad con los resultados de obtenidos en el presente trabajo, varios autores han verificado que la deficiencia de B es mucho más común en condiciones de campo y que aplicaciones de este nutrientes son esenciales para el desarrollo de las especies de *Eucalyptus* (Cannon, 1981; Stape, 1992; Barros *et. al.*, 1992; Fonseca *et. al.*, 1993; Silveira *et. al.*, 1995).

Concentraciones foliares

Las concentraciones de boro en las hojas donde la actividad metabólica es mayor, era más alta que en otras partes de la planta. Los niveles de boro en las hojas de especies de *Eucalyptus* analizadas en este estudio, a saber *E.marginata* (68 ug/g), *E.calophylla* (media de 65 ug/g) y *E. diversicolor* (media de 145 ug/g) eran mucho más altas que aquellas citados por Lamb (1976) para *E. deglupta* (media de 21 ug/g).

Judd *et. al.* (1986) señalan que analizando base de datos foliares de *Eucalyptus* en plantaciones y en bosques naturales, si se comparan los rangos típicos entre estos tipos de sitios, se pueden ver distintos comportamientos de los nutrientes entre ambos. Por ejemplo se observa que varios nutrientes como el nitrógeno(>2%), el fosforo(>0,1%) y el potasio(>1%) tienen mayores concentraciones foliares en plantaciones que en bosques nativos, esto es debido a la intensiva preparación del sitio, a la adición de fertilizantes y otros tratamientos silviculturales. Esto probablemente indique un consumo de lujo de estos nutrientes. Contrariamente a lo anterior se observa en el boro, que las concentraciones mayores corresponden a los bosques naturales como se muestra en la tabla 2.2 .

Tabla 2.2 Extensión de las plantaciones de *E. globulus*, ssp. *globulus* en varios países

Nutriente	Bosques		Plantaciones	
	Rango	Rango típico	Rango	Rango típico
B	62-157	75-125	15-84	20-50

Esto sugiere que el boro puede ser deficiente o estar en concentraciones sub-óptimas en algunas plantaciones (Savory, 1962; Cooling y Jones, 1970; Bangash y Gardiner, 1985; Althoff *et. al.* 1991)

El rango foliar adecuado de boro para *Eucalyptus* ssp para Gonçalves (1995) (Citado por Vaz de Arruda, 2000) es de 30 a 50 ppm y como rango deficiente para *Eucalyptus* ssp para Malavolta (1987) es de 15 a 20 ppm.

En el estudio realizado por Sgarbi *et. al.* (1999) sobre *E. grandis* x *E. urophylla* , se determinó a los 17 meses, después de omitir los nutrientes, que los contenidos foliares de boro eran mayores en las hojas viejas que en las nuevas, debido a la poca movilidad de este nutriente. Cuando se omitió B, la concentración foliar fue de 18 ppm en hojas viejas y 14 ppm en hojas nuevas. Similar resultado cuando se omitió en conjunto K, B y Zn. En los demás

tratamientos de omisión de nutrientes, las concentraciones foliares de boro obtenidas fueron mayores a 25 ppm, que estaban fuera del rango deficiente para el género *Eucalyptus* citado por Malavolta *et. al.* (1987) que es de 15 a 20 ppm.

Un trabajo similar al anterior, pero realizado en *E citriodora* , por Maffeis *et. al.* (2000), a los 11 meses, dieron concentraciones foliares de boro entre 32 y 43 ppm, cuando se omitieron los diferentes nutrientes. Estas variaciones entre especies del género *Eucalyptus* son significativas e indican la necesidad de disponer de valores específicos para la especie que se estudia.

Vale *et. al.* (1994) en Portugal estudiando *E. globulus ssp. globulus* en rebrotes de 3 años, determinó contenidos foliares de boro en hojas con progresiva sintomatología de deficiencia en dos sitios y de árboles con apariencia normal en otro sitio. Las concentraciones foliares obtenidas de este estudio se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Contenidos foliares de boro en *E. globulus ssp. globulus* relativos a dos lugares diferentes de una plantación situada en la municipalidad de Vila Flor y dos plantaciones diferentes de la municipalidad de Santa Comba Dáo

Localidad	Vila FLOR 1				Vila FLOR 2				Santa Comba DÁO	
	a	b	c	d	a	b	c	d	SCD1	SCD2
B (ppm)	8,4	3,9	5,4	4,2	7,9	5,0	4,2	3,8	15,5	20,0

a - síntomas ligeros; b - síntomas moderados; c - síntomas severos; d - hojas pequeñas y mal conformadas

Vale *et. al.* (1994) considera que los valores de boro de Vila Flor son muy bajos, no sólo cuando se comparan con las muestras colectadas en la municipalidad de Santa Comba Dao, sin síntomas, sino especialmente con el nivel crítico de deficiencia establecido por Shorrocks (1989) para el género eucalipto (<35 mg/g), que no obstante para los autores de este trabajo parece ser un poco exagerado para *E. globulus ssp. globulus*.

Después de fertilizarlos con boro en el mismo año, los niveles foliares subieron a valores comprendidos en el rango 50 a 70 ppm, mientras los valores de los árboles no fertilizados permanecían entre 4 y 8 ppm. Por otro lado, todo nuevo

rebrote de las plantas fertilizadas presentaba una apariencia normal y vigorosa, en contraste al de las plantas que no se habían fertilizadas.

En otra experiencia, los mismos autores, en plantaciones con distintos clones encontraron valores foliares desde a 8 a 24 ppm. Con valores similares a éstos, se obtuvo respuesta a la fertilización con varias dosis y productos, mientras que con valores de 29 ppm no se obtuvieron respuestas significativas.

Valores que indiquen toxicidad no han quedado claros ya que valores mayores a 200 ppm se han registrado sin síntomas de toxicidad en un sitio, pero con valores similares, aparecieron síntomas de toxicidad en hojas viejas en otro sitio.

En cuanto a la evolución a través del tiempo de la concentración foliar, se vio que después de la fertilización, aumenta la concentración foliar pero el después del tercer o cuarto año de la aplicación, ésta se estabiliza, pareciendo indicar un uso eficiente ciclaje del boro el sistema planta/ suelo/ hojas por encima de los niveles potenciales de deficiencia.

Síntomas de deficiencias

Frecuentemente, los factores climáticos conjugan su acción con otros factores, para producir deficiencias de boro. Por ejemplo los síntomas de carencia de boro siempre aparecen en la estación seca y los árboles se recuperan después de las lluvias.

Por otro lado, fue demostrado por Cooling y Jones (1970) que la aplicación de boro aumenta la resistencia a heladas (Jacobs, 1981).

Las anomalías morfológicas producidas por la deficiencia de boro pueden limitarse a la muerte o estancamiento de algún meristema apical, con la reducción consecuente de crecimiento, pero frecuentemente está muerte progresa finalmente hacia la base de los brotes, produciendo la muerte apical (*dieback*). La apariencia típica de las necrosis, afecta a los brotes con alguna dominancia particular, lo que es un síntoma muy parecido al causado por los daños por heladas.

Sin embargo, al ser producidos por deficiencia de boro estos síntomas sólo empiezan a ser evidentes en los meses de verano y alcanzan su máxima expresión en otoño. En las axilas de la base de los brotes cuyas extremidades se han secado, crece un nuevo brote, generalmente torcido o con formas extrañas, y en su evolución puede también morir. El rebrote múltiple lateral y la ausencia de dominancia apical confieren a menudo a las plantas un aspecto

arbustivo o de apariencia postrada. También se observa una gran profusión de extremidades necrosadas. Plantas con varios grados de sintomatología es normal que presenten fustes torcidos o bifurcados y ramificaciones con entrenudos cortos.

En las hojas del nuevo rebrote, principalmente aquellos que provienen de los brotes axilares, se observan varios tipos de deformación, tales como el mayor espesor de la hoja, limbos redondeados o arrugadas, márgenes irregulares y nervadura central descentrada. En algunas hojas, la ocurrencia de manchas es también común, con varios colores de amarillo, rojo a castaño. En las fotos 1 y 2 se presentan algunas sintomatologías.

En las plantas con anomalías se verifica la frecuente ocurrencia de ramas quebradas, principalmente después de un período de abundantes lluvias y fuertes vientos, indicio de su mayor fragilidad, comparada con aquellos de apariencia normal. Cuando esto ocurre, o cuando otras anomalías son evidentes, se verifica que hay también acumulación de sustancias amarronadas por debajo de la epidermis, en la zona del cambium.

Aunque el cuadro sintomatológico descrito se manifiesta con mayor evidencia en un período de mayor sequedad, los aspectos globales que este reviste, permiten deducir que la causa más probable no es la falta de agua, sino la existencia de un estado de deficiencia del boro.

La muerte apical cambia con la etapa de crecimiento del bosque. La diferencia en la intensidad de la muerte apical entre plantas de diferentes especies de eucaliptos puede reflejar una exigencia nutricional diferenciada de boro (Althoff *et. al.*, 1991).

Malavolta *et. al.* (1962), sostienen que los síntomas de deficiencia de boro se localizan en hojas jóvenes. Aparece un amarilleo entre las nervaduras y hojas de tamaño y forma normal, comenzando desde las nervaduras laterales hacia la nervadura central. A lo largo de los nervios laterales, el tejido se conserva verde pero luego toma un tinte violáceo. Las superficies inferiores de las hojas se vuelven de un color verde claro.

Síntomas más extremos que los indicados anteriormente han sido descritos por Savory (1962) en Zambia, donde el primer síntoma es el arrugado y la decoloración de las hojas que se abren de la yema apical, lo que se repite en otras yemas de la parte superior de la copa. Las yemas se vuelven quebradizas y mueren. Las hojas adultas de la parte superior de la copa se decoloran y luego caen.

A continuación, la corteza del tallo principal se vuelve pardo oscura y necrótica, con la necrosis comenzando en las yemas y descendiendo a lo largo del tallo. En casos extremos, la muerte apical puede extenderse a 2/3 de altura, lo que ocurre cada año en la estación seca. Esto puede continuarse durante varios años hasta quedar el árbol con aspecto de un arbusto densamente ramificado (Jackson, 1977, citado por Jacobs, 1981)

Los síntomas de deficiencia de boro visibles se manifiestan en puntos de crecimiento. Debajo de la tierra, se reduce el alargamiento de la raíz y cesa por completo dentro de 24 horas de la remoción del boro. Encima del suelo, se tuercen brotes terminales y las hojas jóvenes decoloran y/o pueden morir.

Los entrenudos son generalmente más cortos, mientras las plántulas toman una apariencia espesa o de rosetón. La caída de los brotes, flores y la fruta inmadura, también son síntomas típicos de deficiencia del boro. A menudo las infecciones subsecuentes por enfermedad que causan los organismos son inevitables, y también puede llevar a un falso diagnóstico del problema real (USDA, 2001).

Los niveles del boro suficientes varían con la especie de la planta, fase de vida, y clima. Se piensa que las diferencias principales en los requisitos de boro puede ser relacionado a las diferencias en la composición de la pared celular. Las especies con mayor lignificación tienden a tener un requerimiento más alto para el boro. Esta razón hace que la deficiencia de boro en las monocotiledóneas sea menos común que en dicotiledóneas y especialmente severa en plantas leñosas.

Aumenta la sensibilidad para los niveles del boro, bajo condiciones de tiempo luminosas. Se piensa que esto es debido a su implicancia en la síntesis del fenol, un grupo de compuestos que son elevados en plantas que crecen bajo la alta intensidad lumínica (USDA, 2001).

Toxicidad

Los síntomas de toxicidad de boro incluyen el clorosis y necrosis del brote terminal y en márgenes o puntas de hojas maduras. Impedir el crecimiento es también común aunque no sintomático.

La toxicidad es rara bajo las condiciones naturales, pero puede ocurrir en sitios que se han tratados con desechos que contienen boro, como aguas residuales del lavado doméstico, efluentes del alcantarillado, cenizas de carbón o lana de vidrio. También por la mala aplicación de fertilizantes de boro, en lo que respecta a la distribución e incorporación al suelo (USDA, 2001).

Vale *et. al.* (1994), registraron síntomas de toxicidad en *E. globulus ssp. globulus* solamente en hojas viejas en el primer año después de la aplicación de las dosis altas de fertilizante, posiblemente donde el boro se acumuló en las primeras etapas de la absorción. También se registró toxicidad en rebrotes de cepas, que indujo a cierta mortalidad de algunos rebrotes, cuando se aplicaron dosis de 80g de *fertibor*® por árbol en un sitio con suelos arenosos.

El manejo boro

El análisis del suelo es de valor dudoso determinando la disponibilidad de boro porque es físicamente o químicamente inmovilizado en la mayoría de los suelos. No obstante, el test del suelo puede revelar áreas dónde la deficiencia del boro no ocurrirá (USDA, 2001).

Como todos los micronutrientes, el manejo del suelo y la fertilización son las dos principales maneras de manejar el boro en el bosque y en los viveros.

El manejo del suelo. Las buenas prácticas de manejo del suelo pueden jugar un papel importante evitando deficiencias y problemas de toxicidad. Como la retención del boro es más grande en suelos con altos contenidos de materia orgánica, manteniendo en el suelo adecuados niveles de materia orgánica se puede reducir la probabilidad de deficiencia de boro.

En los suelos altos contenido en calcio la disponibilidad del boro se restringirá. A su vez también es cierto que concentraciones altas de calcio pueden proteger de la toxicidad del boro.

El bajo contenido de agua en el suelo puede deprimir captación del boro y movilidad en la planta. La humedad adecuada de la planta y la presión de vapor reducida durante la estación de crecimiento reducirán las chances de deficiencias del boro (USDA, 2001).

Aunque el pH alto frecuentemente se menciona como un factor importante que determina la disponibilidad del boro, en suelos calcáreos es la única situación en que tiene importancia práctica.

La fertilización. El boro es uno de los micronutrientes más ampliamente aplicado. La deficiencia del boro es completamente evitable a través uso de fertilizantes de suelo y productos del foliares acompañados con buenas prácticas de manejo de suelo. Pueden separarse los fertilizantes de boro en aquellos que son una fuente inmediata de boro (por ejemplo *solubor*® (Borax Ltd.) y aquellos de mayor tiempo duración (por ejemplo colemanita o ulexita).

Los materiales completamente solubles pueden aplicarse como fertilizantes foliares o pueden aplicarse al suelo para una respuesta rápida a los síntomas de deficiencia de boro. Los fertilizantes foliares han demostrado ser seguros y eficaces en una variedad de plantas. Los fertilizantes de boro de acción lenta son incorporados en el suelo y lograr una distribución igual, es crítico para evitar efectos de toxicidad y de deficiencia del boro. Se recomienda mezclar el boro con fertilizantes de gran volumen como el superfosfato o el nitrato de amonio para evitar problemas de la distribución (USDA, 2001).

En la tabla 2.4 se describen distintos tipos de fertilizantes que contienen boro obtenidos de la bibliografía.

Tabla 2.4. Descripción de fertilizantes con boro recopilado de la bibliografía.

FERTILIZANTES CON BORO	FORMULA QUÍMICA	% B	USO	FUENTE
Ácido bórico	H_3BO_4	17	Foliar y Suelo	(USDA, Forest Nursery Notes 2001).
Bórax	$Na_3B_4O_7 \cdot 10 H_2O$	11	Suelo	(USDA, Forest Nursery Notes 2001).
Tetraborato de Sodio-Dehydbor	$Na_2B_4O_7$	22	Foliar y Suelo	(USDA, Forest Nursery Notes 2001).
Colemanita	$Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$	10 a 16	Suelo	(USDA, Forest Nursery Notes 2001).
Solubor®	$Na_3B_4O_7 \cdot 5H_2O$ + $Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10 H_2O$	20	Foliar y Suelo	(USDA, Forest Nursery Notes 2001).
Solubor® (Octaborato de Sodio Tetrahidratado)	$Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$	20,9	Foliar y Suelo	www.borax.com
Pentaborato de Sodio	$Na_2B_{10}O_{16} \cdot 10 H_2O$	18	Suelo	Palmer & Murdock, 2000
Fertibor®		14,7	Suelo	Coutinho, J., <i>et. al.</i> (1995, 1996, 1999)
Fertibor® (Tetraborato de Sodio Pentahidratado)	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	15,2	Suelo	www.borax.com
Granubor® (Tetraborato de Sodio Pentahidratado y Octaborato de Sodio Tetrahidratado)	$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ + $Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$	15	Suelo	www.borax.com
Agrobor®		11	Suelo	Coutinho, J., <i>et. al.</i> (1995, 1996, 1999)
Ulexita calcinada (borato de calcio y sodio)		15	Suelo	Coutinho, J., <i>et. al.</i> (1995, 1996, 1999)

Borato de Magnesio (boracite)	$2Mg_3B_8O_{15}$ $MgCl_2$	21		Mitchell Charles C., 1999
Hidroboraquita (borato de calcio y magnesio)		13	Suelo	Coutinho, J., <i>et. al.</i> (1995, 1996, 1999)
Boronatrocalcita		10	Suelo	Toro(1988) y (Alvarez Muñoz J., 2002)

En ensayos realizados por Coutinho *et. al.* (1995, 1996, 1999) en Portugal en *E. globulus* ssp. *globulus*, tanto en rebrotes de 1 año, como en árboles de 1 año, probaron varios tipos de fertilizantes, en diferentes dosis. Los diferentes fertilizantes y dosis, fueron:

- *Fertibor*® (borato 46 con 14,7% de B). Dosis en cepas: 20 ,40 ,80 g/cepa; en árboles de 1 año: 10 , 20 , 40 g/ árbol (2.94g, 5.88g y 11.76g de boro/ planta.)
- Ulexita calcinada (borato de calcio y sodio, con 15% de B) 2 granulometrías > 0,6 mm y < 0,6 mm. Dosis en árboles de 1 año: 50 g/árbol
- *Agrobor*® (borato 46, con 11% de B). Dosis en árboles de 1 año: 40, 80 g/ árbol
- Hidroboraquita (borato de calcio y magnesio, con 13%) en 2 granulometrías 1-3 mm y 2-5 mm. Dosis en árboles de 1 año: 100 g/árbol

La opción de emplear un fertilizante de menor solubilidad, como el caso de la ulexita calcinada permitió una disponibilidad más retardada. Esto se muestra como la opción potencialmente más correcta tanto para la recuperación de poblaciones de árboles todavía jóvenes, como para la prevención de deficiencias de boro no visibles en poblaciones con moderado potencial productivo.

Savory (1963) en base a varios experimentos en África sobre *Eucalyptus* ssp. concluyó que el fertilizante boratado (14,3 % de B) aplicado a *Eucalyptus* spp. en el campo a razón de 42,5 g/ planta (84 kg/ ha) sería suficiente prevenir la muerte apical.

En Chile, forestal Mininco fertiliza *E. globulus* ssp. *globulus* con Boronatrocalcita 3g de boro/ planta al primer año (lo que significa 30g de boronatrocalcita/ planta), y recomienda que la oportunidad de la aplicación, es antes del período de crecimiento, como fecha máxima el 30 de agosto (HS) (Álvarez , 2002)

También en Chile, en un ensayo realizado por Toro *et. al.* (2001) sobre las prácticas de establecimiento de *E. globulus* ssp. *globulus* se comparó sólo el comportamiento de dos tratamientos: el que recibió controles de malezas pre y

post plantación y el que recibió dos controles adicionales de malezas, junto con una fertilización consistente en 100 g de urea y 100 g de superfosfato triple por planta. Se registró una respuesta en peso seco aéreo, de 73% y en volumen 72%. Si bien en este ensayo no incluyó la fertilización con boro aporta datos interesantes que sugieren la necesidad de una fertilización con boro. Lo destacable en este aspecto es que el B absorbido en el tratamiento fertilizado y con más cantidad de controles de malezas, es un 170% mayor que en el tratamiento sin fertilizar y con menos control de malezas.

Con respecto a la concentración de los micronutrientes en el follaje, el B aumenta su concentración de 15 a 25 ppm en el tratamiento con silvicultura más intensiva. Estos valores están dentro de los niveles de deficiencia (Toro, J. *et. al.* 2001).

Toro(1988) menciona que se han reportado en Chile, aplicaciones de boro, con Boronatrocálcita en un rango de 2-4g/ planta como correctivo de deficiencias en *E. globulus* ssp. *globulus* (Prado y Toro, 1996) .

Jacobs (1981), hace referencia a otros ejemplos de fertilizaciones con boro en plantaciones de *Eucalyptus* en Zambia, Malawi y Nigeria con 60g de boro por planta, pero no especifica el fertilizante usado.

Respuesta a la fertilización

No son muchos los ensayos que han documentado y cuantificado los efectos de la fertilización con boro, en *Eucalyptus* spp.

Savory (1962), citado por Cooling y Jones (1970), fue el primer informe detallado de la deficiencia de boro con muerte apical en *Eucalyptus* spp. Describió los síntomas en este género y en el Norte de Rhodesia y señaló los síntomas de muerte apical desarrollados con la llegada de la estación seca y el incremento en la severidad hasta el nuevo período de lluvias. Un buen control de este desorden en *Eucalyptus* se logró por *solubor*® en aerosol y por la aplicación de fertilizante boratado a campo. En base a varios experimentos, este autor concluyó que ese fertilizante boratado (14,3 % de B) aplicado a *Eucalyptus* en el campo a razón de 84 kg/ ha (42,5g/planta) sería suficiente prevenir la muerte apical. El momento de la aplicación fue aproximadamente 10 semanas después de plantar.

En vista de este resultado Cooling y Jones (1970), decidieron intentar establecer *Eucalyptus grandis* sobre los suelos arenosos de Zambia, dónde éstos habían fallado como resultado de la muerte apical extendida y severa. La experiencia con el mismo género, en Zambia, indicó que 42,5g/ planta como

señalaba Savory (1962) como suficiente no era adecuado en todos los sitios. Para esta razón se probó fertilizar con borato a tres dosis: 0, 56,7g y 113.4g por planta. Como se esperaba que el sitio que fuera bajo en el macronutrientes se fertilizó también con NPK se probó con y sin agregado de N.

En base a las observaciones realizadas en el experimento descrito por Cooling (1967) se registró la resistencia a las heladas en *Eucalyptus grandis* a campo provocada por la aplicación del fertilizante boratado al suelo.

Badanov (1965) informa en un ensayo preliminar con plantines de *E. cinerea* en que rociando con $H_3BO_3MnSO_4$, se retarda el crecimiento, reduce la duración de la estación crecimiento e incrementa la resistencia a heladas.

Algunos trabajos realizados en Brasil por Sgarbi *et. al.* (1999) y por Maffeis *et. al.* (2000), con un clon de *E.grandis* x *E.urophylla* y *E. citriodora*, se determinó que el B y el N son los dos nutrientes que más limitan el crecimiento cuando están ausentes. La disminución en producción de materia seca a los 26 meses, que se verificó cuando el clon *E.grandis* x *E.urophylla* se desarrolló en ausencia de boro fue mayor al 50% respecto al tratamiento completo. En *E. citriodora* se verificó a los 11 meses una disminución del 67% en la producción de materia seca comparada con el tratamiento completo.

También hay similares resultados citados por Sgarbi *et. al.* (1999), como el de Rocha Filho *et. al.* (1978) que tuvo un reducción del 61% en *E. urophylla* comparando con el tratamiento completo. También de Rocha Filho *et. al.* (1978) y Silveira *et. al.* (1996) verificaron reducciones de 29% en *E. grandis* y de 45% en *E. citriodora* cuando se omitió boro en relación con dosis de 0,5mg/l. De estos últimos trabajos los autores han verificado que la deficiencia de boro es muy común en condiciones de campo y que aplicaciones de este nutriente son esenciales para el desarrollo de *Eucalyptus* (Cannon, 1981; Stape, 1992; Barros *et. al.*, 1992; Fonseca *et. al.*, 1993; Silveira *et. al.*, 1995)

Pinheiro (1999) aplicando boro en *E. camaldulensis* en Minas Gerais, 3 meses después de la plantación, con 3 dosis y refertilizando a los 15 meses, cuantificó el efecto por la altura y además mediante un coeficiente de intensidad de muerte apical desarrollado para evaluar las especies susceptibles a la deficiencia de boro. Con las dosis menores se obtuvieron respuestas de disminución en el coeficiente de intensidad de muerte apical (equivalentes a disminuir la intensidad de muerte apical), muy significativas en suelos arenosos, pero se necesitaron mayores dosis para disminuir este coeficiente en suelo arcillosos. Aún así el coeficiente no llegó a ser 0 en los suelos arcillosos, como sí ocurrió en los suelos arenosos. En cuanto a la respuesta en altura en relación a la fertilización con boro, los resultados no fueron concluyentes.

Vale *et. al.* (1994), en el primer informe, dieron cuenta de la existencia de anomalías de crecimiento en *E. globulus* ssp. *globulus*, en extensas plantaciones del centro de Portugal. Después que verificaron que el crecimiento anormal era debido a la deficiencia de boro, por la sintomatología y por los contenidos foliares de boro, empezaron a partir de 1992 una serie de ensayos de aplicación de boro.

Coutinho *et. al.* (1995, 1996, 1999), llevaron a cabo una secuencia de ensayos estudiando el efecto del boro en poblaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* en el norte y centro interior de Portugal. Instalaron hasta 1999 ocho campos experimentales divididos en tres grupos de acuerdo a su objetivo y condiciones específicas.

En estos ensayos se han evaluado la respuesta en los parámetros dasométricos y los contenidos foliares, y su evolución en el tiempo. Se han instalado ensayos tanto en montes tallares como en plantaciones. También se han probado varias dosis de boro, como también diversas fuentes de boro con diferente granulometría.

En los experimentos en que se fertilizó los rebrotes con 3 dosis de *fertibor*® después de 6 años de evaluación, las respuestas fueron contundentes y bien definidas en cuanto a los efectos del boro sobre la productividad. Los aumentos de producción estuvieron entre 450% en el caso del sitio con mayor potencial y 61 % en sitio con peores condiciones de desarrollo.

Referente a las dosis, y a la evolución de los contenidos foliares de boro, se observaron matices diferentes entre sitios. En algunos lugares el efecto de las dosis más altas (40 y 80g) no se diferenciaba. Asimismo, por períodos breves aparecieron algunos síntomas de toxicidad en la dosis más alta.

Los resultados de los demás ensayos sobre poblaciones de plantaciones clonales de 1 año, con aplicaciones de distintas fuentes de boro y a diferentes dosis, mantienen la misma tendencia sobre el efecto del boro, pero no son tan concluyentes. De todas maneras los resultados muestran un incremento importante debido a la aplicación de boro. En un sitio en que los incrementos anuales eran de 5m³/ha/ año se alcanzan los 10m³/ha/ año luego de la fertilización. En otro sitio donde no había evidencia de síntomas de deficiencia de boro, se obtuvieron incrementos de 36% en la productividad en volumen.

En cuanto a los resultados de los distintas fuentes de boro y de distintas granulometrías, se observó la mayor eficiencia y persistencia de las fuentes de menor solubilidad, como el caso de *ulexita* calcinada e *hidroboracita* en diferentes granulometrías, en relación con el *fertibor*® y *agrobora* con mayor solubilidad (Coutinho *et. al.* , 1995; 1996; 1999).

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 Aspectos generales

Se estudiaron plantaciones de *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* de 2 años de edad, en el Departamento de Lavalleja.

Se procuró establecer el estado nutricional de las plantaciones, con especial énfasis en el boro. Para ello, se realizó una evaluación de las concentraciones foliares y de la respuesta en crecimiento a la aplicación de boro.

3.2 Selección de sitios y marcación de parcelas

Se seleccionaron 2 establecimientos en el Departamento de Lavalleja, uno en la localidad de Marmarajá, el establecimiento Molles de Marmarajá y el otro en la localidad de Barriga Negra, el establecimiento Barriga Negra. Ambos se encuentran en zonas representativas de las áreas con mayores extensiones plantadas en el departamento citado. En el figura 3.1 se presenta la ubicación de los establecimientos.

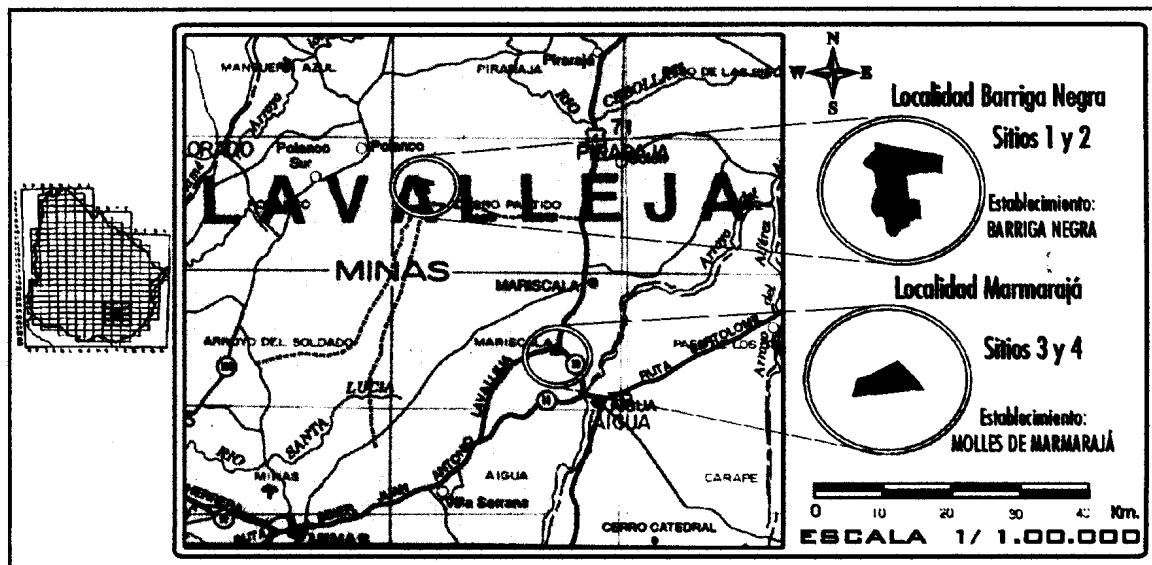


Figura 3.1 Mapa de Ubicación de los Sitios estudiados

La zona del estudio se encuentra entre los 33° 08' y 33 ° 54' de latitud sur. Entre las características climáticas más relevantes, se encuentra que: la temperatura media anual es de 17,3 C, la temperatura máxima es de 28,3° C (enero) y la mínima es de 6,5° C(julio). El período libre de heladas es de 300 días, con la fecha de primera helada el 15 de junio y la fecha de última helada 20 de agosto. La ETP (EvapoTranspiración potencial) anual acumulada normal 1100 mm. La precipitación anual 1138 promedio (Estación pluviométrica N°2549, Barriga Negra, período 1970-2000).¹

En los establecimientos referidos, se seleccionaron 2 sitios en cada uno, totalizando 4 sitios. En la tabla 3.1 se resumen las principales características edáficas y geológicas de ambos.

Tabla 3.1 Resumen de las características principales de los cuatro sitios seleccionados

SITIO	Localidad	Grupo CONEAT	Pendiente	Material Geológico
1	Barriga Negra	2.12	3 - 5 %	Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG) Grupo Arroyo del Soldado (GAS)
2	Barriga Negra	2.12	5 - 8%	Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG) Grupo Arroyo del Soldado (GAS)
3	Marmarajá	2.11 a	13-15%	Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)
4	Marmarajá	2.11 b	5 - 8%	Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)

Los criterios de selección de los sitios fueron los siguientes: plantación de *E. globulus ssp globulus* de 2 años de edad; realizada en primavera con surcador; materiales geológicos diferentes entre sitios; uno de los sitios debía presentar buen aspecto de desarrollo y sanitario de la plantación, mientras que los otros 3 debían presentar aspectos de desarrollo pobre, aspecto de follaje, ramas o fuste anormales.

3.2.1 Descripción de los sitios

SITIOS DE LA LOCALIDAD DE BARRIGA NEGRA

Los sitios seleccionados en la localidad de Barriga se denominaron sitios 1 y 2. Estos sitios fueron seleccionados por poseer árboles con condiciones de desarrollo intermedias (ni muy buenos ni muy malos) y por haberse observado

¹ Datos suministrados por Cátedra de Agrometeorología.

en algunos árboles sintomatologías anómalas en el follaje, compatibles con la sintomatología de deficiencia pobre de boro encontrada en la bibliografía (Dell, 1996). La sintomatología observada y el estado de desarrollo de los árboles hizo presumir que se podrían obtener respuestas a la fertilización con boro en uno o ambos sitios.

En la figura 3.2 se presenta la ubicación de los sitios y la distribución de las parcelas estudiadas. El mapa de esta figura pertenece a un sector de la hoja escala 1: 50.000, F-24 Cerro Partido, del Servicio Geográfico Militar.

Material geológico en Barriga Negra

La geología de la zona de estudio se compone de dos unidades metamórficas con similitud llamativa pero edad completamente diferente. Como puede verse en la figura 3.3, tomada de la Carta Geológica (Bossi y Ferrando, 2001) en el área aparecen dos unidades, una mapeada o cartografiada de color marrón (con líneas llenas) y otra de color amarillo oscuro con trazo punteado. Las líneas o trazos representan la foliación de esas rocas metamórficas. Las dos unidades son: el "Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)" la marrón y el "Grupo Arroyo del Soldado (GAS)", la amarilla.



Figura 3.2 Mapa de ubicación de los Sitios y Parcelas de la localidad de Barriga Negra



■ "Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)"

▨ "Grupo Arroyo del Soldado (GAS)"

0 5 10 Km.

ESCALA 1/ 500.000

Figura 3.3 Mapa de geológico en la Localidad de Barriga Negra

Las dos unidades presentes en la zona de los ensayos de la localidad de Barriga Negra muestran una compleja relación (metasedimentos del Grupo Arroyo del Soldado y su basamento de edad Mesoproterozoica), al punto que en muchas áreas es extremadamente difícil separar el basamento de las supracrustales vendianas (Schipilov, 2002²). La razón de la dificultad de mapeo radica en que ambos grupos de rocas, aunque de edad diferente, poseen litologías muy similares y dispuestas en sucesiones casi idénticas. Los criterios seleccionados y empleados tanto en el trabajo de campo como de gabinete y laboratorio para separar las litologías observadas en ambos grupos (CMG y GAS), fueron:

² Schipilov, A. Comunicación personal.

Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)

Metamorfismo de grado medio, definido por la sistemática aparición de muscovita, granate y estauroлита (en los metasedimentos cuya composición química lo permite).

Deformación localmente intensa, pero con conservación de S_0 en la mayoría de los metamorfitos.

Existencia de dos o más fases de deformación (crenulaciones, etc.).

Constituye el piso (basamento) del GAS, corroborado además por la aparición de clastos pertenecientes a este grupo en los conglomerados de la Unidad Yermal (base del GAS) y Barriga Negra.

Los únicos fósiles encontrados son estromatolitos de amplio radio basal, que por sus características geométricas fueron asignados al Proterozoico Medio por SPRECHMANN et al. (1994).

Criterios tectono estratigráficos:
El CMG es recortado por numerosos filones o diques, consecuencia de fenómenos magmáticos reconocidamente posteriores a su depositación;
Del mismo modo, el CMG es afectado directamente a través del metamorfismo de contacto (skarns) por estas intrusiones

Grupo Arroyo del Soldado (GAS)

Secuencia sedimentaria de muy bajo grado metamórfico, o bien diagénesis avanzada (menos de 150°), salvo en zonas de metamorfismo de contacto y áreas externas de la antigua plataforma.

Deformaciones que pueden llegar a ser intensas, pero con la consecuente persistencia de estructuras internas de sedimentación (ripples, hummocky, etc.).

Presencia de al menos una fase (claramente expuesta) de deformación.

Se apoya discordantemente sobre el CMG (el contacto se logra observar en algunas zonas: A° Yermal Grande y Chico, C° del Cura, etc.

Sistemática ocurrencia de microfósiles índices del período Vendiano en calizas, cherts y pizarras del Grupo. Han aparecido además fósiles de pared fosfática e icnofósiles que pueden pertenecer al período Cámbrico.

El GAS se deposita sobre estos cuerpos (los que metamorfizaron al CMG), y a su vez éste es recortado por filones de intrusiones más recientes (Cámbricos) como el Granito de Polanco.
A su vez estas intrusiones generan metamorfismo de contacto sobre las rocas de la serie.

GRUPO ARROYO DEL SOLDADO Según Gaucher *et al.* (1998) y Gaucher & Sprechmann (1998), el Grupo Arroyo del Soldado se compone, de la base al tope, de las siguientes unidades de roca:

- Formación Yermal
- Formación Calizas de Polanco
- Formación Barriga Negra
- Formación Cerro Espuelitas
- Formación Cerros San Francisco
- Formación Cerro Victoria

El Grupo en conjunto representa un gran episodio de avance y retroceso del nivel del mar. El ambiente de sedimentación es, para todo el grupo, una plataforma continental ubicada en un margen continental pasivo (sin actividad tectónica o volcánica), donde se verifican importantes cambios climáticos que son responsables de las grandes variaciones composicionales de las litologías que lo integran.

COMPLEJO METAMORFICO GRENVILLIANO Las cuatro litologías dominantes en este complejo sedimentario son las calizas, los gneisses, las

cuarcitas y los metaconglomerados. Subordinadamente aparecen micaesquistos y metamargas.

Se han distinguido dos tipos de **calcáreos**: a) Calizas de color rojo con abundante contenido en óxido de hierro, de grano fino a medio, conformando paquetes en los que se observa un bandeo rítmico; b) El segundo tipo de calizas varía en la coloración, entre el rosado claro y el blanco, con excepcionales estratos grises. El grano es grueso, la silicificación muy abundante y los accesorios silicatados están siempre presentes. La mayoría de estas calizas presentan un laminado milimétrico.

Los **gneisses** son de grano fino a medio y los accesorios más frecuentes son muscovita y turmalina. Estas rocas están intensamente meteorizadas.

Las **cuarcitas** y **conglomerados** constituyen por su naturaleza los altos topográficos de la zona. Estos altos topográficos operan como límites en la sedimentación del Grupo Arroyo del Soldado (siempre fueron altos topográficos, y en el Vendiano-Cámbrico – hace 550 millones de años – estuvieron expuestos a la intemperie), dejando relictos del GAS entre cerros del CMG. Muchos de estos relictos no pueden ser mapeados ni siquiera a escala 1:20.000 por sus pequeñas dimensiones e invariablemente presentan buzamientos muy bajos, menores a 30°.

Entre los altos topográficos de las cuarcitas y en sus flancos es donde mejor se han preservado estos relictos.

Dentro de los paquetes cuarcíticos que corresponden a metaareniscas aparecen importantes espesores de metaconglomerados en los que es posible distinguir el fuerte grado de estiramiento que muestran los clastos originales. Los conglomerados son cuarzofeldespáticos con clastos a bloques generalmente ovoides de 1 a 15 cm constituidos por cuarzo, feldespato, trozos de chert, y de cuarcita ferrífera. En la matriz el accesorio principal es muscovita de origen metamórfico. Existe un pasaje relativamente brusco entre las metaareniscas y los conglomerados cuyo espesor raramente supera los 10 metros (Campal y Schipilov, 1999; Hartmann *et al.* 2001).

Como resumen de la geología zonal, se considera que en la zona Barriga Negra pueden intercalarse rocas sedimentarias metamorfizadas en muy bajo grado del Grupo Arroyo del Soldado con rocas sedimentarias metamorfizadas en grado medio del Complejo Metamórfico Grenvilliano.

Ciertas litologías de ambas unidades son prácticamente indistinguibles, especialmente las cuarcitas o areniscas silicificadas, que a su vez son las que

dan lugar a los altos topográficos (cerros, cuchillas). La composición mineralógica de estos tipos litológicos (cuarcitas y metaconglomerados) es – desde el punto de vista geoquímico – inerte: fundamentalmente cuarzo, quizás feldespatos y algunos minerales del grupo de los filosilicatos en proporciones trazas. El aporte de oligoelementos a partir de estas rocas puede considerarse prácticamente nulo.

Sin embargo cabe resaltar que intercalados en la serie metasedimentaria CMG aparecen gneisses turmalino-muscovíticos. La turmalina es un aluminio-silicato de boro y otros iones, con fórmula genérica $\text{Na}(\text{Mg,Fe,Mn,Li,Al})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH,F})_4$ y con 10% en peso en promedio de B_2O_3 .

Suelos en Barriga Negra

En esta localidad los dos sitios se hallan en suelos CONEAT del grupo 2.12, como se puede apreciar en la figura 3.4.

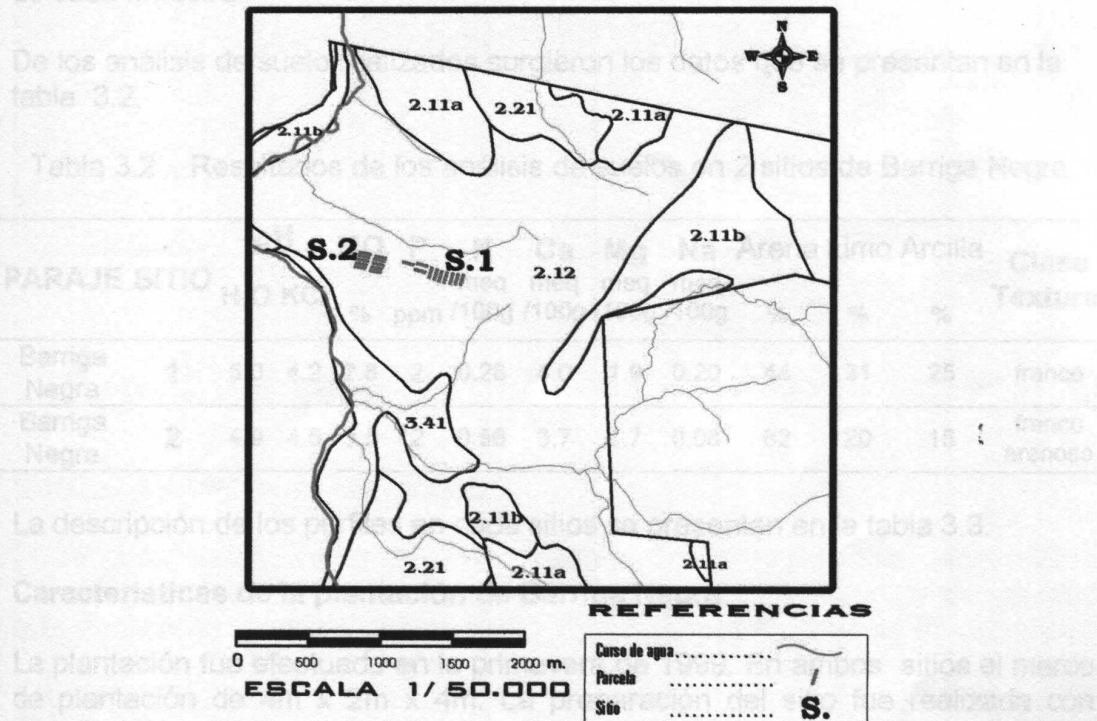


Figura 3.4 Mapa de Tipos de Suelos CONEAT en la Localidad de Barriga Negra

El grupo de suelos CONEAT 2.12 está constituido, en general, por sierras no rocosas de relieve ondulado y ondulado fuerte, con afloramientos en general menores de 5% y pendientes variables entre 5 y 15 %. Los suelos son Brunosoles Subéutricos Háplicos y Típicos, arenoso franco y francos, algunas veces gravillosos, superficiales y moderadamente profundos. Asociadas a estos, se encuentran Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso- franco-gravillosos, a veces muy superficiales y pedregosos y Brunosoles Subéutricos Lúvicos, francos u ocasionalmente arenoso francos, a veces ródcos. Específicamente en la localidad de estudio, los suelos presentan pendientes menores a 5% en el Sitio 1 (que es relativamente plano) y entre 5 y 8 % en el Sitio 2 (figura 3.2).

En todos los sitios se extrajeron muestras de suelo, del horizonte A. La toma de muestras fue realizada en noviembre del 2001.

Las muestras de suelos se enviaron al laboratorio de la Dirección de Suelos y Fertilizantes del M.G.A.P., donde se realizó el análisis físico y químico estándar de cada muestra.

De los análisis de suelo realizados surgieron los datos que se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 . Resultados de los análisis de suelos en 2 sitios de Barriga Negra.

PARAJE	SITIO	pH		MO %	P ppm	K meq /100g	Ca meq /100g	Mg meq /100g	Na meq /100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
		H ₂ O	KCl										
Barriga Negra	1	5.0	4.2	2.8	2	0.28	4.0	1.9	0.20	44	31	25	franco
Barriga Negra	2	4.9	4.5	3.5	2	0.56	3.7	1.7	0.08	62	20	18	franco arenoso

La descripción de los perfiles en cada sitios se presentan en la tabla 3.3.

Características de la plantación de Barriga Negra

La plantación fue efectuada en la primavera de 1999. En ambos sitios el marco de plantación de 4m x 2m x 4m. La preparación del sitio fue realizada con surcador. No se hizo control de malezas post plantación. La única intervención fue el pastoreo por el ganado.

SITIOS DE LA LOCALIDAD DE MARMARAJÁ

En la localidad de Marmarajá se ubicaron los sitios 3 y 4. En el sitio 3 los árboles presentaban un aspecto sanitario y desarrollo regular a pobre, en contraste con el sitio 4 donde tenían un muy buen de desarrollo y buen estado sanitario.

El la figura 3.5 se puede apreciar la ubicación de los sitios y la distribución de las parcelas, en un sector de la hoja escala 1:50.000, F-25, Mariscal, del servicio geográfico militar.

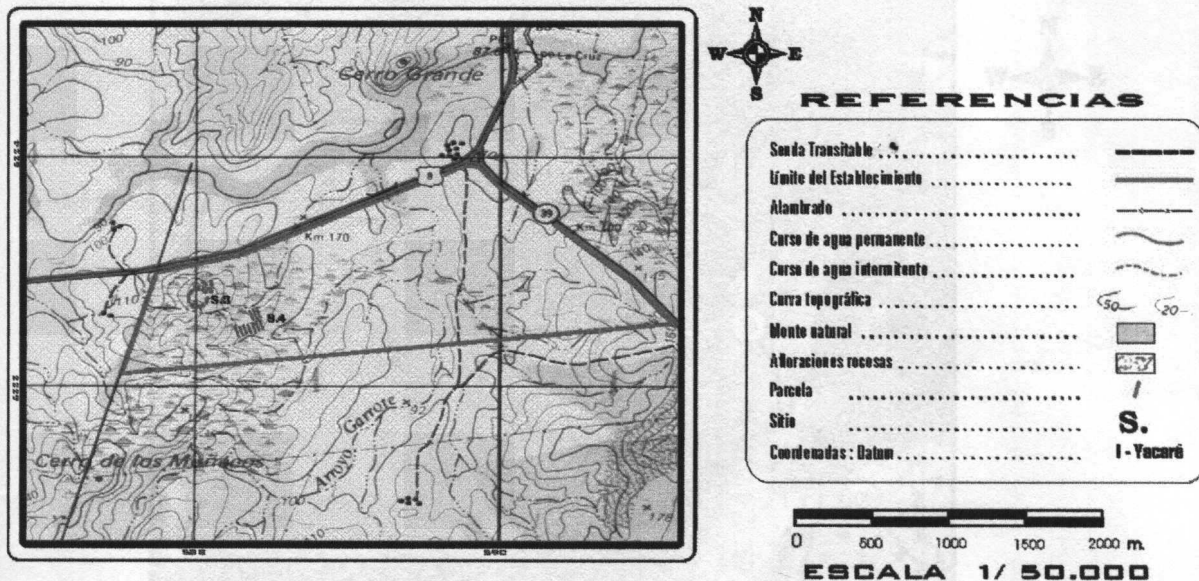


Figura 3.5 Mapa de ubicación de los Sitios y Parcelas de la localidad de Marmarajá

Material geológico de Marmarajá

En la zona se desarrolla la unidad metamórfica del "Complejo Metamórfico Grenvilliano (CMG)", similar a Barriga Negra, pero con litologías de afinidad más gneissicas (granitos deformados y rocas metasedimentarias intercaladas). Como puede verse en la figura 3.6, extraída de la carta geológica (Bossi y Ferrando, 2001), las líneas o trazos representan la foliación de esas rocas metamórficas.

En la figura 3.6 se puede observar sobre en que tipo de suelos CONEAT están los sitios estudiados.

En la zona de Marmarajá no se han identificado – hasta ahora – metasedimentos del Grupo Arroyo del Soldado. Sin embargo se desarrollan rocas del Complejo Metamórfico Grenvilliano incluyendo cuarcitas, calizas (aunque en menos proporción) y gneisses. Hasta donde se conoce, el grado metamórfico del CMG crece hacia el Sur, por lo que es de esperar que los gneisses posean mayor afinidad granítica, con desarrollo de cristales de feldespato potásico (más parecidos a granitos deformados y metamorizados).

... puede alcanzar niveles de hasta el 10%.

Esta zona pertenece a la región sur de este grupo. (Fragmentos de Lavalleja, ... los suelos dominantes son franco arenosos y a veces pedregales, a veces pedregales a veces pedregales).

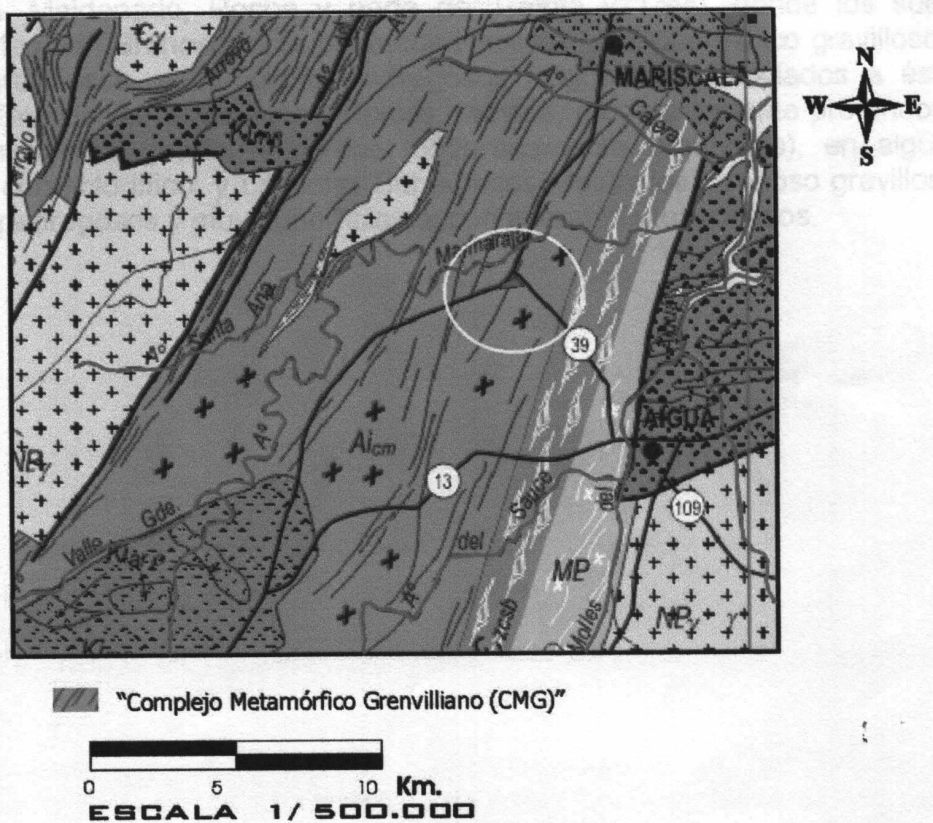


Figura 3.6 Mapa de geológico de la localidad de Marmarajá

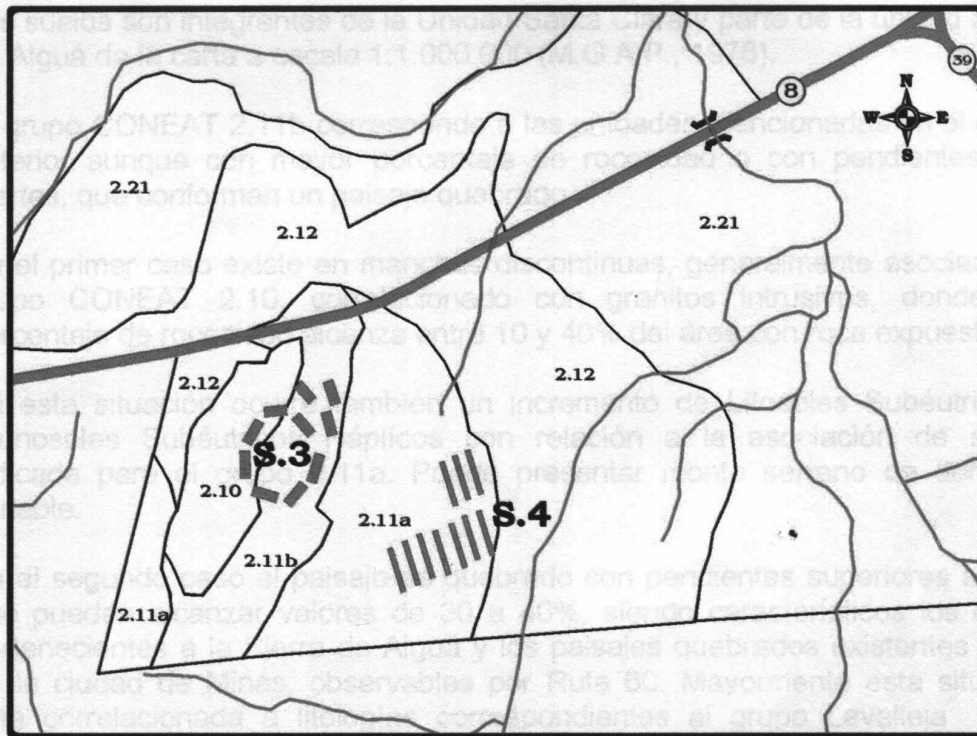
Suelos de Marmarajá

En la figura 3.6 se puede observar sobre en que tipo de suelos CONEAT sitúan los sitios estudiados.

El sitio 3 está situado sobre suelos del grupo CONEAT 2.11b en la cima de un cerro y el sitio 4 está sobre es grupo CONEAT 2.11a en la ladera media del mismo cerro, como se puede apreciar en la figura 3.7.

La descripción general del grupo CONEAT 2.11a indica que son sierras rocosas con paisaje ondulado fuerte y pendientes entre 5 y 20% con rocosidad que puede alcanzar niveles de hasta el 10%.

Esta zona pertenece a la región sur de este grupo, (Departamentos de Lavalleja, Maldonado, Rocha y parte de Treinta y Tres), donde los suelos dominantes son Brunosoles Subéutricos Háplicos, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales pedregosos (regosoles). Asociados a éstos, ocurren Brunosoles Subéutricos Típicos, francos, moderadamente profundos, a veces profundos (praderas pardas moderadamente profundas), en algunos casos a contacto lítico; y Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso gravillosos, a veces pedregosos y muy superficiales; con afloramientos rocosos.



REFERENCIAS

0 200 400 600 800m.
ESCALA 1/ 20.000

Parcela	
Sitio	S.
Curso de agua	
Ruta Nacional	

Figura 3.7 Mapa de Tipos de Suelos CONEAT en la localidad de Marmarajá

Los Brunosoles (Háplicos y Típicos) ocupan en conjunto más del 70% del área y se desarrollan entre los afloramientos de rocas fundamentalmente migmatitas y granitos intrusivos, en tanto que los Litosoles ocurren próximos a los afloramientos, o en las áreas más rocosas de la unidad.

El sitio 4, específicamente está ubicado sobre Brunosoles (háplicos), relativamente profundos.

La vegetación es pradera de ciclo estival y matorrales asociados, y el uso es pastoril.

Los suelos son integrantes de la Unidad Santa Clara y parte de la unidad Sierra de Aiguá de la carta a escala 1:1.000.000 (M.G.A.P., 1976).

El grupo CONEAT 2.11b corresponde a las unidades mencionadas en el grupo anterior aunque con mayor porcentaje de rocosidad o con pendientes más fuertes, que conforman un paisaje quebrado.

En el primer caso existe en manchas discontinuas, generalmente asociadas al grupo CONEAT 2.10, correlacionado con granitos intrusivos, donde el porcentaje de rocosidad alcanza entre 10 y 40% del área con roca expuesta.

En esta situación ocurre también un incremento de Litosoles Subéutricos y Brunosoles Subéutricos Háplicos con relación a la asociación de suelos indicada para el grupo 2.11a. Puede presentar monte serrano de densidad variable.

En el segundo caso el paisaje es quebrado con pendientes superiores al 15% que pueden alcanzar valores de 30 a 40%, siendo característicos los cerros pertenecientes a la Sierra de Aiguá y los paisajes quebrados existentes al sur de la ciudad de Minas, observables por Ruta 60. Mayormente esta situación está correlacionada a litologías correspondientes al grupo Lavalleja rocas metamórficas indiferenciadas.

En general, en la asociación de suelos, predominan los superficiales (Litosoles Subéutricos Dístricos), existiendo en las concavidades y gargantas, suelos profundos, de origen coluvial que normalmente contienen monte serrano de alta densidad.

El sitio 3 se encuentra sobre litosoles subéutricos dístricos en suelos CONEAT 2.10 y 2.11a (figura 3.7)

El uso es pastoril y la vegetación es de pradera con predominio de especies estivales, con malezas asociadas (*Baccharis trimera*, etc.).

Este grupo integra las unidades Santa Clara y Sierras de Aiguá de la carta a escala 1:1.000.000 (M.G.A.P., 1976).

En todos los sitios se extrajeron muestras de suelo, del horizonte A y se realizó una descripción de los perfiles, en cada sitio. La fecha fue en noviembre del 2001.

De los análisis de suelo realizados surgieron los datos que se presentan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Resultados de los análisis de Suelos en los 2 sitios de Marmarajá.

PARAJE	SITIO	PH		MO %	P ppm	K meq /100g	Ca meq /100g	Mg meq /100g	Na meq /100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
		H ₂ O	KCl										
Marmarajá	3	4.8	4.2	5.5	12	>2.00	7.3	2.5	0.08	29	36	35	franco arcilloso
Marmarajá	4	5.3	4.7	7.7	5	>2.00	7.9	3.5	0.11	49	21	30	franco arcillo arenoso

Características de la plantación de Marmarajá

La plantación se realizó en noviembre del 1999. En el sitio 3 el marco de plantación es de 3m x 3m, mientras que en el sitio 4 es de 4m x 2m x 4m. La preparación del sitio se efectuó con surcador, fertilizándose al momento de la plantación, con una dosis de 100 g / planta de 20-40-0. No se hizo control de malezas post plantación, la única intervención fue el pastoreo por el ganado.

3.2.2 Marcación de parcelas

En cada sitio seleccionado, se marcaron 10 parcelas de 16 árboles, totalizando 40 parcelas y 640 árboles. El diseño de la parcela en el marco de plantación 3m x 3m fue cuadrado, como se puede ver en la figura 3. 8.

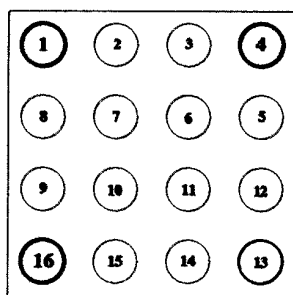


FIGURA 3.8 Diseño de la parcela en el marco de plantación 3m x3m.

En los casos en que el marco de plantación fue de 4m x 2m x 4m el diseño de la parcela, fue con dos filas contiguas de 8 árboles cada una, como se presenta en la figura 3.9.

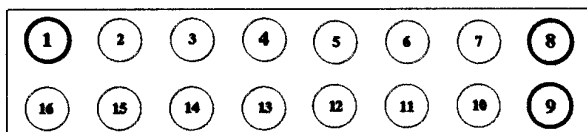


Figura 3.9 Diseño de la parcela en el marco de plantación 4m x 2m x 4m.

3.3 Muestreo y análisis foliar

El día 26 de julio de 2001 se tomaron muestras foliares del árbol más alto de cada parcela, totalizando 40 muestras foliares. La fecha de muestreo fue antecedida por un período de más de dos semanas de clima muy frío, sin precipitaciones ni heladas.

Las muestras se tomaron del tercio medio de la copa viva, en la orientación Norte y de las hojas sub-terminales completamente desarrolladas de ramas expuestas a pleno sol, siguiendo la metodología empleada por Sayagués (1990).

Las muestras colectadas, debidamente identificadas y envasadas en plástico, fueron trasladadas en contenedores refrigerados hasta el laboratorio para su análisis.

En el laboratorio, las muestras foliares colectadas, fueron lavadas con Teepol, secadas en horno de microondas hasta peso constante (Carlier y Van Hee, 1971) y molidas a malla de 1 mm. Sobre cada muestra se determinó nitrógeno por el método de Kjeldahl, fósforo, potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc y boro sobre las cenizas disueltas en HCl al 1/5. El fósforo se determinó por colorimetría, el boro por colorimetría por azometina H y los demás elementos por espectrofotometría de absorción atómica.

3.4 Mediciones dasométricas

Se midió la altura total en metros con vara graduada y Blumeleiss. El DAP c/c (diámetro a 1,30 m de altura, sobre corteza) se midió con forcípula, en cada uno de los árboles de cada parcela, en dos ocasiones.

Las fechas de las mediciones fueron: en octubre de 2001 (simultáneamente con la aplicación del fertilizante) y en marzo de 2002.

3.5 Aplicación de fertilizantes

En las 10 parcelas del sitio, se fertilizó con 3 dosis de Boro haciendo tres repeticiones (parcelas) de cada dosis. Se dejó una parcela sin fertilizar como testigo. El fertilizante utilizado fue *granubor*® de ISUSA, con un porcentaje de Boro de 15% (6,7 kg de *granubor*® proveen 1 kg de boro). Las dosis suministradas fueron de 5 , 10 y 20 gramos de Boro por planta, por lo tanto se fertilizó con 34, 74, y 134 gramos de *granubor*® por planta. Estas dosis fueron denominadas, A, B, y C, respectivamente.

El fertilizante fue enterrado a poca profundidad alrededor del árbol, alejado entre 10 a 20 cm. del pie, utilizando una azada.

La fecha de la fertilización fue en noviembre del 2001. El 17/11/2001, Barriga Negra en los sitios 1 y 2, y el 18/11/2001 en Marmarajá en los sitios 3 y 4.

La distribución de las dosis en las parcelas de cada sitio fue determinada al aleatoriamente y en la tabla 3.5 se presenta la distribución de las dosis en las diferentes parcelas en cada sitio.

Tabla 3.5 Distribución de los tratamientos (A, B, y C indican los respectivos tratamientos; T = testigo)

Parcela	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4
1	B	B	B	A
2	B	B	B	B
3	A	B	A	B
4	A	A	A	A
5	T	A	T	C
6	A	T	C	T
7	C	A	A	C
8	C	C	B	A
9	C	C	C	B
10	B	C	C	C

3.6 Procesamiento de los datos

3.6.1 Datos de crecimiento

Los datos de crecimiento de las parcelas se compararon empleando un análisis de varianza, cuyo modelo y forma se presenta en la tabla 3.6.

La evolución del crecimiento entre las diferentes parcelas se analizó gráficamente.

Tabla 3.6. Modelo y forma del ANAVA realizado con los datos de crecimiento.

$$\text{Modelo : } Y = \mu + S_i + T_j + (ST)_{ij} + e_{ij}$$

Donde:

μ = Media de la población

S = efecto del sitio i.ésimo

T = efecto del tratamiento j.ésimo

s = cantidad de sitios (4)

p = cantidad de parcelas por sitio (10)

a = cantidad de árboles por parcela (16)

t = cantidad de tratamientos por sitio (4)

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F
Sitios	s-1 (3)	CMS	CMS/ CME
Tratamientos en sitios	t-1 (3)	CMT	CMT/ CME
Sitios x Tratamientos	(s-1) (t-1) (9)	CM SxT	CM SxT/ CME
error	GL tot – resto (624)	CM E	

Total spa-1 (639)

3.6.2 Datos foliares

Los valores de las concentraciones foliares de macro y microelementos se compararon con los de la bibliografía nacional e internacional para establecer el estado nutricional de los árboles en los diferentes sitios.

Adicionalmente, se calcularon cocientes de relaciones entre los diferentes nutrientes, con base en la bibliografía internacional (citar).

Con los datos de las concentraciones foliares y de los cocientes calculados, se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias estadísticas entre los sitios. El modelo y forma del análisis de varianza empleado se presenta en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Modelo y forma del ANAVA realizado con los datos de concentraciones foliares.

$$\text{Modelo : } Y = \mu + S_i + P_j + e_{ij}$$

Donde:

μ = Media de la población

S = efecto del sitio i -ésimo

P = efecto de la parcela j -ésima

s = cantidad de sitios (4)

p = cantidad de parcelas por sitio (10)

Fuente de Variacion	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F
Sitios	s-1 (3)	CMS	CMS/ CME
Parcelas en sitios	p-1 (9)	CMP	CMP/ CME
error	GL tot – resto (27)	CM E	
Total	sp-1 (39)		

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DESCRIPTIVOS DE LOS SITIOS

4.1.1 Mediciones dasométricas

En la figura 4.1 se presentan los promedios de altura total en cada sitio, medidas tomadas en la primera fecha, simultáneamente a la aplicación del fertilizante, así como los valores máximos y mínimos registrados.

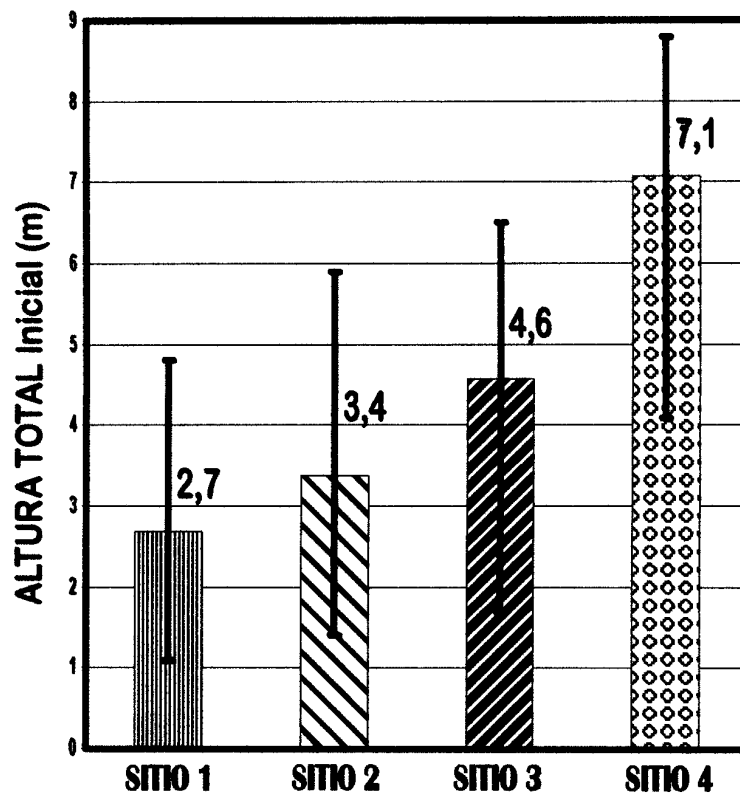


Figura 4.1 Altura Total promedio (en m) en la primera medición (las líneas verticales representan los valores máximo y mínimo registrados)

En la figura 4.1 se puede apreciar que los sitios con menor altura promedio son los 1 y 2 que pertenecen a la localidad de Barriga Negra. Los sitios 3 y 4 de Marmarajá presentaron promedios de altura total mayores a los anteriores. El promedio de altura del sitio 4 se destacó por casi duplicar al del sitio 3 y ser varias veces superior al de los sitios de Barriga Negra.

Las amplias diferencias de promedios entre los sitios pueden deberse a factores genéticos, ambientales o a la interacción de ambos. No hay razones para suponer que la semilla utilizada en las dos localidades poseía diferencias significativas de variabilidad genética. Bajo este supuesto, las diferencias de desarrollo de las plantaciones debe atribuirse a diferencias ambientales.

En la tabla 4.1 se presentan algunos parámetros estadísticos de las mediciones de altura total.

Tabla 4.1 Parámetros estadísticos de los datos de altura total en los 4 sitios, en la medición realizada en el momento de la aplicación del fertilizante.

SITIO	PROMEDIO	VARIANZA	Coefficiente de VARIACIÓN
1	2,7	1,4	52%
2	3,4	0,8	24%
3	4,6	0,8	19%
4	7,1	0,8	11%

En general, las plantaciones realizadas en los sitios de peor calidad poseen una variabilidad mayor. Como se puede apreciar en la tabla 4.1 los sitios de menor altura promedio, presentaron una mayor variabilidad.

En el sitio de mayor promedio de altura, donde se puede esperar que los factores ambientales sean menos limitantes, los árboles presentan menor variabilidad.

Para el análisis de las alturas totales iniciales de los árboles, se agruparon las mismas en 9 clases. Los histogramas de frecuencias de éstas clases, en los 4 sitios se presentan en la figura 4.2.

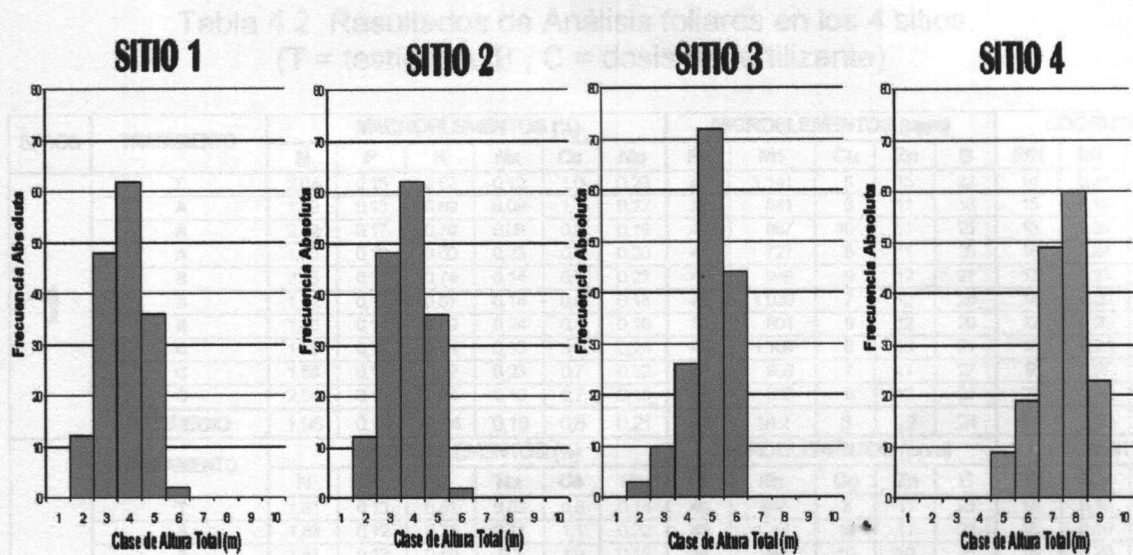


Figura 4.2 Distribución de la altura total (en m) en la primera medición en los 4 sitios, en frecuencias absolutas. Los valores del eje de las abscisas corresponden a las marcas de clase

4.1.2 Análisis foliares

En la tabla 4.2 se presentan los resultados los análisis foliares correspondientes a las muestras de los distintos sitios.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROMEDIO	1.08	0.19	0.75	0.14	0.12	0.22	0.51	0.15	0.2	0.11	0.23	0.11	0.23	0.14	0.23	0.11
VARIANCIA	0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
COEFICIENTE DE VARIACION	0.3	0.22	0.13	0.27	0.28	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
MODALIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROMEDIO	1.73	0.72	0.22	0.14	0.1	0.25	0.47	0.44	0.75	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
PROMEDIO TOTAL	1.73	0.72	0.22	0.14	0.1	0.21	0.45	0.42	0.73	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
MODAL	1.73	0.72	0.22	0.14	0.1	0.21	0.45	0.42	0.73	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
MODAL	1.73	0.72	0.22	0.14	0.1	0.21	0.45	0.42	0.73	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
CV	0.3	0.22	0.13	0.27	0.28	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

Tabla 4.2 Resultados de Análisis foliares en los 4 sitios.
(T = testigo; A, B , C = dosis de fertilizante)

SITIOS	TRATAMIENTO	MACROELEMENTOS (%)						MICROELEMENTOS (ppm)					COCIENTES		
		N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	P/N	N/P	N/Ca
1	T	2,04	0,15	0,62	0,12	1,0	0,26	44	1.141	8	15	22	14	0,24	2,0
	A	1,89	0,13	0,69	0,09	1,1	0,22	38	641	6	11	18	15	0,19	1,7
	A	2,22	0,17	0,70	0,08	0,9	0,19	42	887	10	11	25	13	0,24	2,5
	A	1,95	0,12	0,50	0,23	0,6	0,20	47	727	8	11	26	16	0,24	3,3
	B	2,15	0,17	0,74	0,14	0,7	0,22	49	948	9	12	21	13	0,23	3,1
	B	1,72	0,12	0,61	0,14	0,9	0,18	45	1.030	7	12	24	14	0,20	1,9
	B	1,70	0,14	0,69	0,24	0,6	0,16	39	801	9	12	29	12	0,20	2,8
	C	1,75	0,13	0,54	0,15	0,8	0,24	49	1.100	6	13	21	13	0,24	2,2
	C	1,58	0,17	0,62	0,23	0,7	0,22	41	959	7	11	27	9	0,27	2,3
	C	2,54	0,13	0,64	0,16	0,7	0,18	49	886	8	12	29	20	0,20	3,6
	PROMEDIO	1,95	0,14	0,64	0,16	0,8	0,21	44	912	8	12	24	14	0,23	2,5
2	T	1,81	0,13	0,81	0,09	0,6	0,14	40	647	5	11	23	14	0,16	3,0
	A	1,83	0,12	0,74	0,11	1,1	0,22	45	1211	12	11	23	15	0,16	1,7
	A	1,87	0,12	0,59	0,1	1,0	0,18	39	940	10	10	26	16	0,20	1,9
	A	1,55	0,12	0,78	0,11	1,2	0,16	50	1096	7	14	28	13	0,15	1,3
	B	1,88	0,12	0,77	0,11	1,1	0,17	50	1029	7	14	21	16	0,16	1,7
	B	1,85	0,14	0,75	0,11	0,9	0,21	53	805	11	13	28	13	0,19	2,1
	B	1,94	0,13	0,69	0,13	1,1	0,21	49	952	8	15	28	15	0,19	1,8
	C	1,77	0,13	0,75	0,08	0,7	0,16	32	620	8	10	25	14	0,17	2,5
	C	2,1	0,15	0,83	0,16	0,9	0,2	62	880	10	15	26	14	0,18	2,3
	C	1,96	0,13	0,73	0,13	1,3	0,21	83	884	13	14	36	15	0,18	1,5
	PROMEDIO	1,86	0,13	0,74	0,11	1,0	0,19	50	906	9	13	26	14	0,17	2,0
3	T	1,59	0,11	0,72	0,14	1,1	0,19	75	973	11	10	24	14	0,15	1,4
	A	1,61	0,14	0,73	0,12	1,2	0,15	51	1374	13	9	21	12	0,19	1,3
	A	1,56	0,11	0,73	0,13	1,1	0,26	42	864	9	13	23	14	0,15	1,4
	A	1,57	0,11	0,71	0,15	1,1	0,23	46	1221	8	12	25	14	0,15	1,4
	B	1,68	0,12	1,03	0,15	1,4	0,24	53	1355	13	13	25	14	0,12	1,2
	B	1,62	0,12	0,61	0,16	1,3	0,29	48	959	13	13	27	14	0,20	1,2
	B	1,92	0,12	0,68	0,10	1,2	0,27	50	824	17	15	30	16	0,18	1,6
	C	1,56	0,11	0,62	0,13	1,0	0,22	54	974	13	13	21	14	0,18	1,6
	C	1,83	0,12	0,88	0,19	0,9	0,21	60	816	8	15	25	15	0,14	2,0
	C	1,66	0,12	0,79	0,08	1,3	0,21	50	786	13	22	29	14	0,15	1,3
	PROMEDIO	1,66	0,12	0,75	0,14	1,2	0,23	53	1015	12	14	25	14	0,16	1,5
4	T	1,56	0,10	0,53	0,11	1,1	0,19	47	1009	9	9	25	15,6	0,19	1,4
	A	1,86	0,11	0,62	0,13	1,2	0,20	55	860	8	13	29	16,9	0,18	1,6
	A	1,99	0,11	0,64	0,14	1,1	0,22	46	681	11	14	29	18,1	0,17	1,8
	A	1,96	0,13	0,56	0,13	1,1	0,22	44	548	8	14	37	15,1	0,23	1,8
	B	1,63	0,13	0,72	0,12	1,0	0,29	50	442	7	13	25	12,5	0,18	1,6
	B	1,78	0,12	0,56	0,15	1,1	0,17	38	915	8	13	28	14,8	0,21	1,6
	B	1,89	0,12	0,55	0,16	1,8	0,22	46	1290	10	16	32	15,8	0,22	1,1
	C	1,99	0,12	0,67	0,10	1,1	0,16	59	689	11	14	17	18,1	0,17	1,8
	C	1,66	0,11	0,64	0,21	0,8	0,13	45	788	6	11	25	15,1	0,17	2,1
	C	1,52	0,10	0,11	0,10	1,1	0,20	38	914	9	10	27	15,2	0,91	1,4
	PROMEDIO	1,78	0,12	0,56	0,14	1,1	0,20	47	814	9	13	27	16	0,26	2
PROMEDIO TOTAL		1,81	0,13	0,67	0,14	1,0	0,21	49	912	9	13	26	14	0,21	1,9
MAXIMO		2,54	0,17	1,03	0,24	1,8	0,29	83	1374	17	22	37	20	0,91	3,6
MINIMO		1,52	0,10	0,11	0,08	0,6	0,13	32	442	5	9	17	9	0,12	1,1
CV		3%	0,2%	3%	1,2%	6%	1%	187%	4814%	71%	43%	66%	22%	7%	19%

En la tabla 4.3 se presentan concentraciones foliares recolectadas de la bibliografía, como referencia, para comparar los niveles foliares obtenidos

Tabla 4.3 Valores de concentraciones foliares de *E. globulus* ssp. *globulus* en la bibliografía.

Autor	Edad	PAIS	Obs.	MACROELEMENTOS (%)						MICROELEMENTOS (ppm)				
				N	P	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
1	?	Australia		1,22	0,09	0,8		0,96	0,13					
1				1,49	0,09	0,59		0,89	0,25					
1				1,8	0,16	1,19		0,8	0,19					
1				1,87	0,14	0,79		0,72	0,2					
2	3	Chile		1,75	0,13	0,45		0,65	0,2			6	15	18
3	?	India	Suelo	1,71	0,11	0,71		1,28	0,17					
3	9		pobre	1,42	0,12	0,81		1,27	0,2					
4	1	India	Defic.	0,98	0,14	0,47		1,28	0,17					
4	1		Lujo	2,1	0,27	1,05		1,5	0,3					
5	3	Chile		1,63-2,11	0,11-0,17	0,50-0,79		1,31-2,55	0,24-0,41	90-145	296-608	11-19	11-24	14-43
6	1	Portugal	Rebrote	1,42-1,81	0,07-0,1	0,43-0,83		0,58-1,66	0,17-0,22	71-40	165-4725	5-9	7-19	3,8-20
7	7	Portugal		1,175	0,068	0,554		1,259	0,172					
8	10-11	España	Hojas y Ramillas	0,78	0,054	0,498		1,44	0,162					

(*) Según Judd *et al* (1996) Nutrition Concentrations in Eucalyptus, N/P = 15 es óptimo en *E. globulus*

1. Judd *et al.* 1991.
2. Prado y Toro, 1996.
3. Negi y Sharma, 1984.
4. Negi y Sharma, 1996.
5. Toro y Justiniano 2001.
6. Vale *et al.*, 1994.
7. Pegoes *et al.*, 1998.
8. González *et al.*, 1985.

Los niveles foliares de macro y micronutrientes encontrados en este estudio se encuentran dentro de los rangos citados en la bibliografía.

Los valores foliares de N encontrados en este estudio se encuentran entre los valores medios a altos encontrados en la bibliografía. Los promedios de N y P fueron ligeramente mayores en los sitios peores (1 y 2) que en los mejores y se encuentran ambos por encima del promedio general, en tanto que los promedios en los sitios mejores se encuentran por debajo del promedio general.

Los valores foliares de potasio en todos los sitios están dentro del rango de valores recopilados en la bibliografía. Sin embargo, la mayoría de ellos se sitúa

dentro del rango de deficiencia para *E. globulus* ssp. *globulus* en estado adulto propuesto por Dell *et al* (1995), citado por Vaz de Arruda (2000), de 0,4 y 0,7%, aunque coinciden en general con los valores encontrados por Coutinho *et al* (1994), para la misma especie en árboles de 3 y 4 años. Por otro lado, salvo un caso, todos están por encima del valor mínimo adecuado de 0,45 %, propuesto por Boardman *et al* (1997), citado también por Vaz de Arruda (2000).

En cuanto a los niveles foliares de Fe encontrados, están dentro del muy amplio rango recopilado en la bibliografía, pero muy cercanos al límite inferior. Ningún árbol presentó valores foliares superiores a 90 ppm de Fe y la mayoría estuvo en el entorno de las 50 ppm. Esto no significa necesariamente que se esté en presencia de situaciones de deficiencias de este elemento, pero esta posibilidad debe ser tomada en cuenta.

Los niveles foliares de B encontrados en el estudio, se encuentran dentro del rango encontrado en la bibliografía, aunque están todos por debajo del límite crítico general para el género *Eucalyptus* de 35 ppm establecido por Shorrocks (1989), citado por Vale *et al* (1994).

Vale *et al* (1994), encontraron sintomatologías asimilables a deficiencias de B en árboles con niveles foliares entre 3,8 y 8,4 ppm y árboles sin sintomatología con valores foliares entre 15 y 20 ppm. De todas maneras estos autores, obtuvieron respuesta de crecimiento en altura total y DAP a la fertilización, aún en árboles cuyas concentraciones foliares se encontraban por encima de estos valores. En algunos casos, con concentraciones foliares de 29 ppm, Vale *et al* (1994) no obtuvieron respuestas a la fertilización con boro, lo que permitiría considerar a este valor como concentración foliar crítica, por lo menos a efectos orientativos en futuros trabajos.

Apenas un 10% de las concentraciones foliares de B encontradas en este estudio se encuentran por encima del valor de 29 ppm referido, y la mayoría de ellas están en los sitios de Marmarajá (tabla 4.2). Si las consideraciones anteriores son correctas, era esperable encontrar respuestas en crecimiento a la fertilización con B en todos los sitios estudiados.

4.2 RESULTADOS DE CRECIMIENTO

En la figura 4.3 se presentan los gráficos de los datos relevados del crecimiento promedio en altura total de cada tratamiento en los 4 sitios.

En esta figura se observa una clara respuesta a la fertilización. En todos los casos la altura total promedio del testigo sin fertilizar fue menor a los tratamientos fertilizados.

En cuanto a las características de respuesta a la fertilización, existe una tendencia creciente de la respuesta al aumentar las dosis suministradas, salvo en el sitio 4, (el de mejor crecimiento) en que con la dosis más alta se obtuvo un menor crecimiento que con las más bajas. Efectos similares fueron obtenidos por Coutinho *et al* (1997), con dosis de 20, 40 y 80 g de *fertibor*® (14,7% de B) por planta, en árboles fustales y en rebrotes de *E. globulus* de 1 a 4 años de edad.

También se puede constatar que en el sitio 2 la dosis intermedia no tuvo una respuesta en crecimiento en altura creciente con respecto a la inmediatamente inferior. Un efecto similar fue encontrado también por Coutinho *et al.* (1997), en algunos de los sitios fertilizados. Estos autores atribuyen esta tendencia poco coherente con las observadas en los demás sitios a la variabilidad acentuada de factores de suelo en el campo experimental, que aparentemente fue desfavorable para los árboles fertilizados con la dosis intermedia. En el caso del presente estudio, la distribución aleatoria de los tratamientos dentro de cada parcela anula esta posible explicación.

En la figura 4.4 se presenta los gráficos de los crecimientos de DAP c/c promedio de cada tratamiento en los 4 sitios.

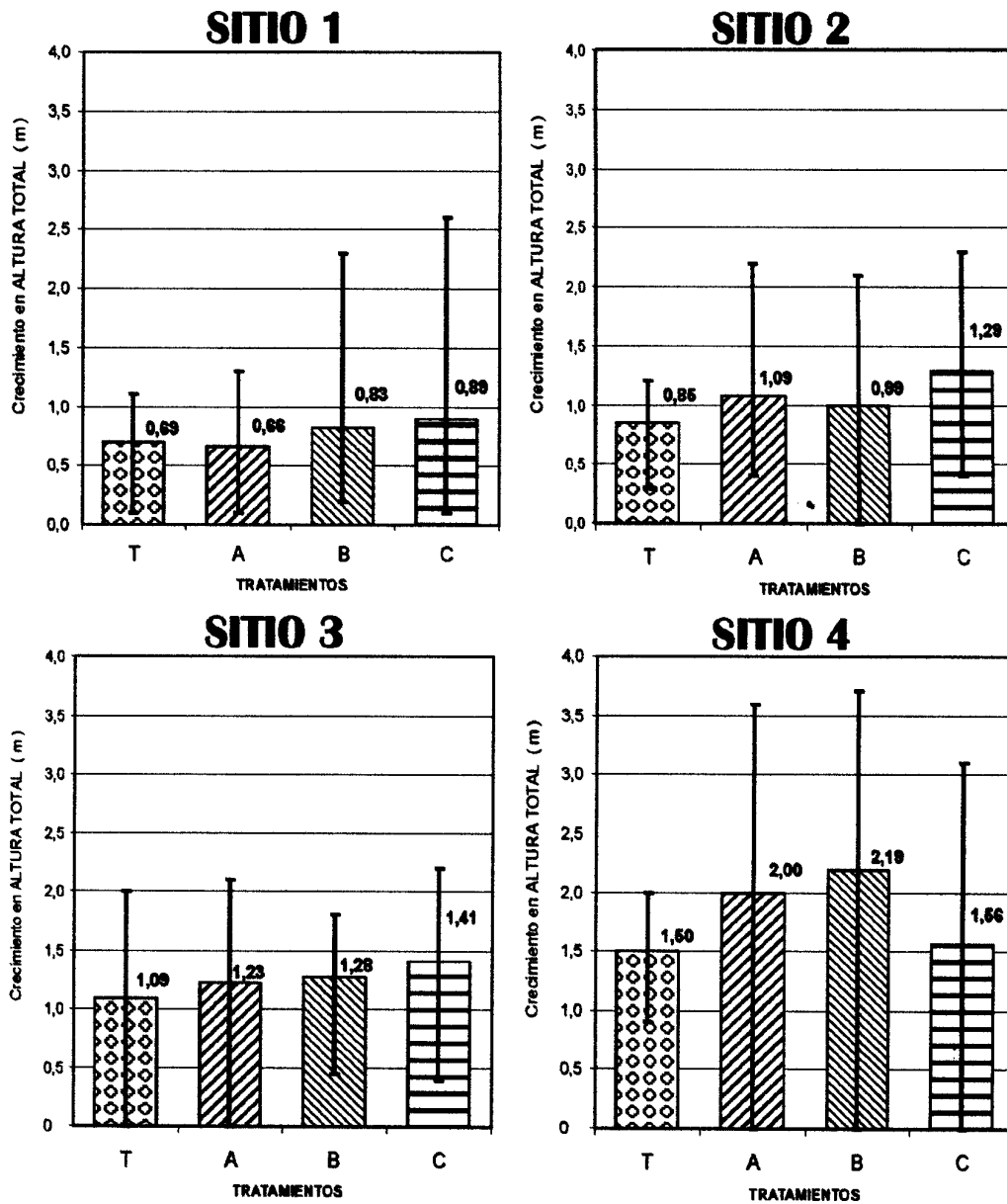


Figura 4.3 Crecimiento en altura total promedio (en m) de *E. globulus* ssp. *globulus* de 2 años en el Departamento de Lavalleja (las líneas verticales representan los valores máximo y mínimo obtenidos) (T = testigo; A, B, C = dosis de fertilizante)

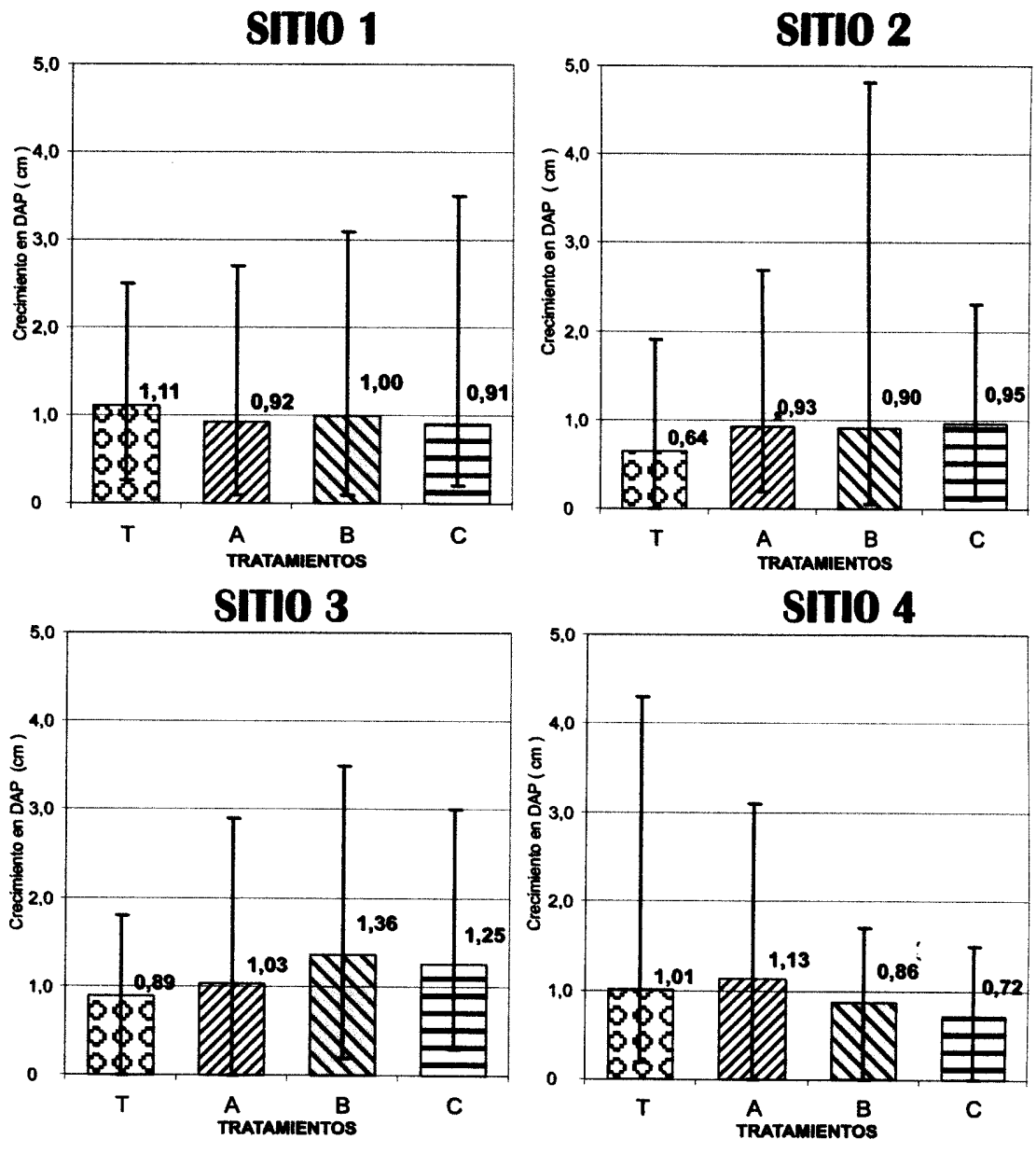


Figura 4.4 Crecimiento en DAP c/c promedio (en cm)
 (las líneas verticales representan los valores máximo y mínimo obtenidos)
 (T = testigo; A, B , C = dosis de fertilizante)

De los resultados de crecimiento del DAP c/c promedio, se puede observar que no presentan la misma respuesta que el crecimiento en altura total. También existe una mayor variación de los datos, ya que los máximos y mínimos están más distanciados.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

4.3.1 Análisis de la varianza de los crecimientos

En la tabla 4.4 se presentan los resultados de ANAVA realizados con los datos de crecimiento en altura total .

Tabla 4.4 Análisis de la Varianza de la población de los 4 sitios, del crecimiento en altura total (en m) de *E. globulus* ssp. *globulus* de 2 años.

* indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

** indican diferencias significativas($p \leq 0,01$)

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	101,2	33,8	125,04 **
Tratamientos	3	4,3	1,4	5,28 **
Sitios x Tratamientos	9	14,5	1,6	5,97 **
Error	624	168,4	0,3	
Total	639	288,4		

En la tabla 4.5 se presenta el resultado de la comparación entre las medias de los tratamientos realizada por la prueba de Duncan.

Tabla 4.5 Resultado de la prueba de Duncan de las medias de crecimiento en altura total(m) de los 4 sitios. (T = testigo; A, B , C = dosis de fertilizante)

TRATAMIENTO	MEDIA	n	
T	1,03	64	A
A	1,24	192	B
B	1,29	192	B
C	1,32	192	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Según la prueba de Duncan el testigo, sin fertilizar, es significativamente menor (al 5%) a todos los tratamientos de fertilización con boro.

El resultado del ANAVA con todos los datos de crecimiento en altura total indica que la interacción entre sitios y tratamientos es significativa.

Para evaluar el efecto de los tratamientos en los diferentes sitios, se realizaron los ANAVA cuyos resultados se presentan en la tabla 4.6

Como la diferencias entre las medias de los tratamientos resultaron significativas en todos los sitios, en el ANAVA de la tabla 4.5, se realizó la comparación de las mismas por la prueba de Duncan. En la tabla 4.7 se presentan los resultados.

En el sitio 1 y 3 no hubieron diferencias significativas entre el testigo y las dosis menores (A y B), aunque la dosis máxima produjo crecimiento en altura significativamente superior al testigo.

En el sitio 2 no hubieron diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento B; las dosis A y C produjeron crecimientos en altura total significativamente superiores al testigo.

Tabla 4.6 Resultados de los Análisis de la Varianza realizados con los datos de crecimiento en altura total (en m) de *E. globulus* ssp. *globulus* de 2 años en los 4 sitios estudiados.

* indican diferencias significativas al 5%) y ** indican diferencias significativas al 1%

SITIO 1

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Tratamientos	3	1,48	0,49	3,16 *
Error	156	24,44	0,16	
Total	159	25,92		

SITIO 2

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Tratamientos	3	3,35	1,12	6,84 **
Error	156	25,48	0,16	

Total	159	28,83		
SITIO 3				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Tratamientos	3	1,51	0,5	2,73 *
Error	156	28,76	0,18	
Total	159	30,27		
SITIO 4				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Tratamientos	3	12,43	4,14	7,2 **
Error	156	89,73	0,58	
Total	159	102,15		

En el sitio 4 no hubieron diferencias significativas entre el testigo y la dosis mayor (tratamiento C), mientras que las dosis A y B produjeron crecimientos significativamente superiores al testigo.

La respuesta en crecimiento en altura de los árboles a la fertilización con cualquier nutriente es, por definición indicadora de la existencia de deficiencia nutricional de ese nutriente (Prichett, 1979; Binkley, 1993). En los 4 sitios estudiados se obtuvo respuesta a la fertilización con boro. Por lo tanto, es correcto afirmar que en los cuatro sitios existía, al momento de fertilizar, un estado de deficiencia de boro en los *Eucalyptus globulus ssp globulus*.

La ausencia de boro en el suelo en Barriga Negra puede explicarse satisfactoriamente por la carencia de minerales boratados en las rocas del subsuelo, especialmente si la geología se compone de cuarcitas y conglomerados cuarcíticos. Cabría esperar anomalías por exceso de boro en alguna zona donde afloraran gneisses turmaliníferos; de existir, la anomalía debería estar condicionada por la foliación de las rocas metamórficas.

En la zona de Mariscal, el déficit de boro en el suelo puede también explicarse razonablemente si en la zona no existen litologías portadoras de este elemento. Otra vez las anomalías por exceso – en caso de haberlas – estarían condicionadas geométricamente por el área de afloramiento de las rocas turmaliníferas.

Tabla 4.7 Resultados de la comparación de medias de crecimiento en altura total (en m) de los tratamientos en los 4 sitios evaluados, por la prueba de Duncan.

SITIO 1

TRATAMIENTO	MEDIA	n		
A	0,66	48	A	
T	0,69	16	A	
B	0,83	48	A	B
C	0,89	48		B

SITIO 2

TRATAMIENTO	MEDIA	n		
T	0,85	16	A	
B	0,99	48	A	B
A	1,09	48		B*
C	1,29	48		C

SITIO 3

TRATAMIENTO	MEDIA	n		
T	1,09	16	A	
A	1,23	48	A	B
B	1,28	48	A	B
C	1,41	48		B

SITIO 4

TRATAMIENTO	MEDIA	n		
T	1,50	16	A	
C	1,56	48	A	
B	2,00	48		B
A	2,19	48		B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Las dosis máximas aplicadas en este estudio son relativamente altas, en relación a las empleadas por algunos productores de la zona. También son elevadas en relación a algunas dosis referidas en la bibliografía (Savory, 1963; Cooling y Jones, 1970; Binkley, 1993; Bento *et al.*, 1995; Pinheiro, 1999; Álvarez, 2002). Aún así, en algunos de los sitios estudiados, la respuesta promedio en crecimiento en altura fue creciente con las dosis. Esto hace presumir que las dosis mayores podrían producir respuestas mayores.

El riesgo de producir daños por toxicidad, principalmente en suelos arenosos, hace recomendable que los futuros estudios evalúen también la aplicación de dosis más altas en forma fraccionada, en diferentes momentos del crecimiento anual.

4.3.2 Análisis de la varianza de los datos foliares

En la tabla 4.8 se presenta el resultado del ANAVA de las concentraciones foliares.

Tabla 4.8 Resultados de ANAVA de las concentraciones foliares en los 4 sitios estudiados.

(* indican diferencias significativas al 5%)

N					P				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	0,5	0,15	3,36 *	Sitios	3	0,005	0,0016	11,15*
Parcelas	9	0,1	0,02	0,34	Parcelas	9	0,003	0,0003	2,01
Error	27	1,2	0,05		Error	27	0,004	0,0001	
Total	39	1,8			Total	39	0,010		

K					Na				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	0,25	0,08	7,32 *	Sitios	3	0,01	0,003	2,22
Parcelas	9	0,18	0,02	2,01	Parcelas	9	0,01	0,001	0,87
Error	27	0,31	0,01		Error	27	0,04	0,002	
Total	39	0,74			Total	39	0,06		

Ca					Mg				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	0,83	0,28	7,8 *	Sitios	3	0,01	0,0029	2,20
Parcelas	9	0,51	0,06	1,6	Parcelas	9	0,01	0,0013	0,95
Error	27	0,96	0,04		Error	27	0,04	0,0013	
Total	39	2,31			Total	39	0,06		

Fe					Mn				
Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	431	144	1,7	Sitios	3	202.402	67.487	1,7
Parcelas	9	859	96	0,9	Parcelas	9	455.123	50.569	1,3

Error	27	2.256	86
Total	39	3.546	

Error	27	1.054.008	39.039
Total	39	1.711.533	

Cu

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	88,9	29,63	6,1 *
Parcelas	9	37,1	4,12	0,85
Error	27	131,1	4,86	
Total	39	257,1		

Zn

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	11	3,8	0,77
Parcelas	9	71	7,9	1,61
Error	27	132	4,9	
Total	39	214		

B

Fuente de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Sitios	3	61,1	20,4	1,1
Parcelas	9	81,5	9,1	0,5
Error	27	520,9	19,3	
Total	39	663,5		

En la tabla 4.8 se observa que los nutrientes presentaron diferencias significativas entre los diferentes sitios fueron: N , P, K , Ca y Cu.

En la tabla 4.9 se presentan los resultados de las comparaciones por Duncan de las medias de las concentraciones foliares entre los sitios para los nutrientes que presentaron diferencias significativas.

Tabla 4.9 Resultados de la comparación de medias de concentraciones foliares en los 4 sitios evaluados, por la prueba de Duncan. (letras distintas indican diferencias significativas al 5%)

N				P			
SITIO	Medias			SITIO	Medias		
3	1,66	A		4	0,12	A	
4	1,78	A	B	3	0,12	A	B
2	1,86	A	B	2	0,13		B
1	1,95		B	1	0,14		C

K				Ca			
SITIO	Medias			SITIO	Medias		
4	0,56	A		1	0,80	A	
1	0,64	A		2	0,99		B
2	0,74		B	4	1,14		B
3	0,75		B	3	1,16		B

Cu			
SITIO	Medias		
1	7,8	A	
4	8,7	A	
2	9,1	A	
3	11,8		B

Respecto a los macronutrientes, de la tabla 4.9 se desprende que:

- las concentraciones foliares de N, fueron significativamente superiores en el sitio 3 que en el sitio 1; mientras que los sitios 4 y 2 no se diferencian estadísticamente.

- el sitio 4 presentó concentraciones foliares de P significativamente mayores que el sitio 2 y el sitio 1 presentó concentraciones significativamente inferiores a todos los demás sitios. Entre los sitios 3 y 4 no existieron diferencias significativas;
- los sitios 4 y 1 presentaron valores foliares de K significativamente mayores que los sitios 2 y 3;
- el sitio 1 tenía concentraciones foliares de Ca significativamente menores a los demás.

En referencia al Cu, el sitio 3 presentaba concentraciones foliares menores a los demás, estando en orden decreciente los sitios, 4, 2 y 1.

De lo anterior se desprende que los bajos crecimientos de los *E. globulus ssp. globulus* en el sitio 1, que motivaron su inclusión en este estudio, se presentan en conjunto con bajas concentraciones foliares de N, P, Ca y Cu.

El sitio 4, incluido en este estudio por ser el de mayor desarrollo de los árboles, presentó valores más altos de algunos macronutrientes y Cu que el sitio peor.

Aunque este estudio no está dirigido al análisis específico de estos nutrientes, se debe considerar en estudios futuros la posibilidad de que los nutrientes incluidos en la tabla 4.9 se encuentren en condiciones de deficiencia en plantaciones de escaso desarrollo relativo, en el Departamento de Lavalleja. La inclusión de estos nutrientes en conjunto con el B en ensayos de fertilización en *E. globulus ssp. globulus*, puede arrojar más luz sobre esta problemática.

4.4 RELACIÓN ENTRE CONCENTRACIONES FOLIARES Y EL CRECIMIENTO

Se espera que la respuesta a la fertilización sea mayor cuanto menor sea la concentración de boro foliar. La escasa cantidad de datos disponible no permite hacer un análisis estadístico de esta posibilidad, pero se puede realizar una aproximación analizando las gráficas de comportamiento de nutrientes y del crecimiento.

En la figura 4.5 se presentan los gráficos de la respuesta en crecimiento de altura total de los árboles muestreados, a las tres dosis suministradas de fertilizante con boro, de cada parcela en cada sitio. También se presentan las respectivas concentraciones foliares, de boro.

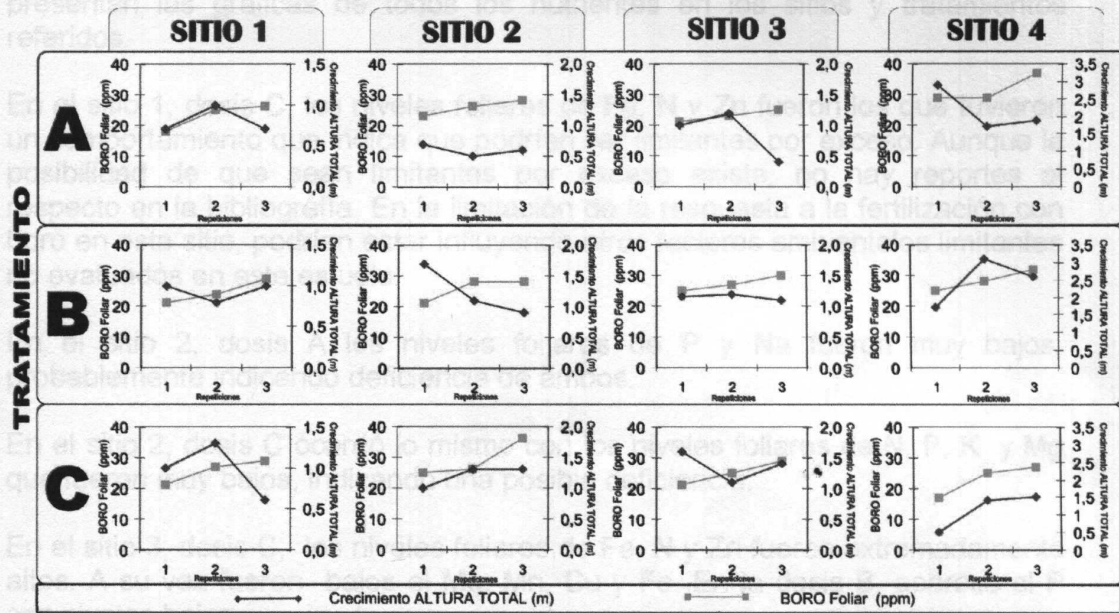


FIGURA 4.5. Respuesta a la fertilización con boro de 3 dosis, con 3 repeticiones, y la concentración foliar de boro de cada árbol muestreado.

Se puede observar en la figura 4.5 que no siempre una menor concentración foliar de boro correspondió con una mayor respuesta a la fertilización o viceversa.

Esto se puede atribuir a que otros factores están limitando el crecimiento además del boro. Estos factores limitantes pueden ser otros nutrientes o cualquier otro factor del ambiente.

Los sitios y dosis que mostraron estas situaciones, fueron: Sitio 1, dosis C; Sitio 2, dosis A y C; Sitio 3, dosis C y Sitio 4, dosis B.

Si alguno de los otros nutrientes es limitante por deficiencia, a las menores concentraciones de esos nutrientes corresponderán las menores respuestas en crecimiento en altura y viceversa, en los sitios y tratamientos en que el crecimiento en altura y el boro no presenta el comportamiento esperado. En caso de que sean limitantes por exceso, el comportamiento debería ser el contrario, esto es, a las menores concentraciones de esos nutrientes

corresponderán las mayores respuestas en crecimiento. En el **anexo 2** se presentan las gráficas de todos los nutrientes en los sitios y tratamientos referidos.

En el sitio 1, dosis C, los niveles foliares de Fe, N y Zn fueron los que tuvieron un comportamiento que indica que podrían ser limitantes por exceso. Aunque la posibilidad de que sean limitantes por exceso existe, no hay reportes al respecto en la bibliografía. En la limitación de la respuesta a la fertilización con boro en este sitio, podrían estar influyendo otros factores ambientales limitantes no evaluados en este estudio.

En el sitio 2, dosis A los niveles foliares de P y Na fueron muy bajos, probablemente indicando deficiencia de ambos.

En el sitio 2, dosis C ocurrió lo mismo con los niveles foliares de N, P, K y Mg que fueron muy bajos, indicando una posible deficiencia.

En el sitio 3, dosis C, los niveles foliares de Fe, N y Zn fueron extremadamente altos. A su vez fueron bajos el Mg, Mn, Cu y Fe. En la dosis B, aparece el P con niveles bajos.

En el sitio 4, dosis B, los niveles de P, K, Mg y Fe resultaron elevados.

Siguiendo este razonamiento los nutrientes que podrían estar actuando como limitantes por deficiencia, son el N, P, K, Mg y Na en el Sitio 2 y P en el Sitio 3.

5 CONCLUSIONES

- Existe deficiencia de boro en las cuatro plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* estudiadas, en el Departamento de Lavalleja.
- Aun con aplicaciones en dosis relativamente muy altas de fertilizantes boratados, se obtienen respuestas en crecimiento en altura total en la mayoría de los sitios.
- En algunos sitios, las dosis más altas empleadas producen un efecto de toxicidad, aunque igual se puede obtener respuesta en crecimiento en altura, con respecto al testigo sin fertilizar.
- Un valor de concentración foliar de boro de 29 o 30 ppm parece adecuado como valor crítico para *E. globulus* ssp. *globulus*, esto es, que en árboles con concentraciones de boro por debajo de este valor se puede esperar respuesta en crecimiento en altura a la fertilización.
- Además de la comprobada deficiencia de boro en todos los sitios estudiados, en algunos de ellos existen indicios de que pueden estar existiendo deficiencias de otros nutrientes, específicamente K, Ca, Mg, y Cu.

6 RESUMEN

Las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* ocupan más de 100.000 ha en Uruguay. Estas plantaciones están instaladas en una gran variedad de suelos y en gran parte de ellos la disponibilidad de nutrientes es baja. La ocurrencia de deficiencias nutricionales, especialmente de boro, en estos suelos es muy probable. En muchos sitios se han detectado síntomas de deficiencia de este nutriente. Este estudio procura establecer, con rigor científico, la existencia de deficiencias de boro en algunos sitios representativos de las plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* en Uruguay.

Se seleccionaron plantaciones de *E. globulus* ssp. *globulus* de 2 años de edad en el Departamento de Lavalleja. En ellas se definieron 4 sitios y se instalaron 10 parcelas de 16 árboles en cada uno de ellos. Se tomaron muestras foliares de los árboles dominantes en cada parcela y se les realizaron los correspondientes análisis foliares de macro y microelementos. Se fertilizaron los árboles con 3 dosis de boro (5, 10 y 20 g de boro/ planta). Se evaluó la respuesta a la fertilización con boro a través de la medición de los parámetros dasométricos (DAP y altura total).

Las concentraciones foliares de macro y micronutrientes encontradas están dentro de los rangos citados en la bibliografía, aunque los niveles de K y Fe fueron bajos. Los niveles de B también estuvieron dentro del rango considerado bajo en la bibliografía, con valores por debajo de las 30 ppm. Se obtuvieron respuestas significativas a la fertilización con boro en crecimiento en altura total, confirmando la existencia de deficiencia de B en la región de estudio. Las respuestas, en general, fueron crecientes con las dosis. En uno de los sitios, sin embargo, la dosis de boro más alta tuvo un efecto depresivo sobre el crecimiento en altura, lo que puede indicar que se alcanzaron niveles de toxicidad del elemento en las condiciones particulares del referido sitio.

7 ABSTRACT

E. globulus ssp. plantation area in Uruguay is more than 100.000 ha. The stands are planted on a great variety of soils, many of which have low availability of nutrients. Nutritional deficiencies in these soils are very likely, specially those due to lack of boron. Visual symptoms of deficiency have been detected. This work was conducted in order to verify the existence of boron deficiencies in some representative sites of *E. globulus* ssp. *globulus* in Uruguay.

Two- year- old plantations of *E. globulus* ssp. *globulus* were selected in the Department of Lavalleja. In these, 4 sites with 10 plots of 16 trees each were established. Foliage samples of the dominant trees in each plot were taken and foliar levels of macro and micronutrient were determined. Three dosis of boron fertilizer (granubor ®) were applied (5, 10 and 20 g of boron / plant). Response in growth (dbh and total height) to fertilizer was measured.

The foliage concentrations of macro and micronutrients are in the normal ranges for the species, although K and Fe levels were low. The levels of B were in the low part of the normal range for the species, with all values under 30 ppm. Significant response in total heigh to boron fertilization with was found, confirming a boron deficiency situation in the study area. The response was incremental with the amount of fertilizer. In one site, however, the highest boron application showed a depressive effect on height growth, possibly indicating toxicity effect.

8 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. AHL, Th. y JÖNSSON, E. 1972. Boron in Swedish and Norwegian fresh waters. *Ambio* 1: 66-70.
2. ALTHOFF, P.; OLIVEIRA, A.C.; MORAIS, E.J. y FONSECA, S. 1991. Eucalypt dieback in "Cerrado" areas in north-northwest of Minas Gerais. *In: SCHONAU, A.P.G. Intensive forestry: the role of eucalypts*. Pretoria. Southern Afr. Inst. For.:598-609.
3. ALVAREZ, J. 2002. Algunos aspectos relevantes relacionados a la silvicultura de reforestación de *Pinus radiata* D, Don, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, en Chile.XVII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Oct 2002.
4. ATTIWILL P.M. y ADAMS M.E., 1996. Nutrition of Eucalypts. P. M. Attiwill, M. A. Adams. (Eds.).CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 440 p.
5. ATTIWILL P.M.; POLGLASE P.J.; WESTON C.J. y ADAMS M.A., 1996 . Nutrient cycling in forest of south-eastern Australia. *In: Nutrition of Eucalypts*. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia: 191-228.
6. BADANOV, P. A. 1965. The effect of growth sub-stances on increasing the frost resistance of *Eucalyptus* seedlings. *Bull. Glav. Bot. Sada.*, 50: 91-3.
7. BANGASH, S.H. y GARDINER, B.N. 1985. Dieback disease-caused by boron deficiency forest trees. *Pakistan Journal of Forestry* (35):21-31.
8. BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. y LEAL, P.G.L., 1992. Fertilising eucalypt plantations in the brazilian savannah soils. *South African Forestry Journal*, v.160:7-12.
9. BALMELLI, G. 2002. Comportamiento relativo de *Eucalyptus globulus* en Zona 2. *In: INIA 2002. Seminario forestal: mejoramiento genético, silvicultura y sanidad de Eucalyptus globulus en la región sureste*. Serie de Actividades de Difusión, 289:1-5.
10. BELL D.T. y WARD S. C., 1984. Foliar and twig macronutrients (N, P , K , Ca and Mg) in selected species of *Eucalyptus* used in rehabilitation: sources of variations. *Plant and Soil*, 81: 363-376.

11. BENTO, J.S.; J. COUTINHO e R. VALE, 1995. Aplicação de boro em *Eucalyptus globulus*. 1º Relatório Intercalar, UTAD/ SOPORCEL/ BORAX, Vila Real. 27 pp.
12. BENTON J.J.; WOLF J.B. y MILLS H.A. 1991. Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro-Publishing, Inc., USA, 1991.
13. BETTENAY, E.; BLACKMORE, A.V. y HINGSTON, F.J. 1962. Salinity investigations in the Belka Valley, Western Australia. CSIRO Aust. Soils, Div Rep. Nº 10/62.
14. BIGGAR, J.W. y FIREMAN, M. 1960. Boron adsorption and release by soils. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 24:115-20.
15. BIGGS, P. y BARTLE, J.R. 1999. Reforestation and potential for carbon credits in Western Australia. Climate Change Newsletter 11(4): 5-6.
16. BINKLEY, D. 1993. Nutrición Forestal. Ed. Limusa, Mexico. 518 p.
17. BIRK, E.M. y TURNER, J. 1992. Response of flooded gum (*E. grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient contents of eucalypt plantations and native forest. Forest Ecology and Management. 47: 1-28.
18. BOLAND, D.J.; BROOKER M.I.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, N.; HYYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINING, D.A. y TURNER, J.D., 1987. Forest tree of Australia. Melbourne, CSIRO, Nelson. 4th. Edition 2nd. Reprinted, 1987. 687p.
19. BOSSI, J. y FERRANDO, L. 2001. Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500.000 – versión digital 2.0. Cátedra de Geología – FAGRO. Montevideo, Uruguay.
20. BRASIL SOBRINHO, M. de O.C. do. 1965. Levantamento do teor de boro em alguns solos do Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ/USP, 135p. (Tese M.S.).
21. BRITO, F.V. 1970a. Interesse da adubacao do eucalipto na regio florestal do Zérere (Resultados preliminares de ensaio de campo) .Lavoura 106: 10-11.
22. BRITO, F.V. 1970b. Resposta do eucaliptos á adubaçao NPK e á calagem. Lavoura 106: 12-18.

23. BRITO, F.V. 1978. Resposta do eucaliptos á adubação. Resultados de ensaios de capo realizados no Alentejo. *Lavoura* 154: 3-7.
24. BRITO, F.V. y GOULAO, J. 1973a. O estudo da nutrição mineral do ensaios de campo no centro de estudos agronomicos da CUF. *Lavoura* 121: 15-21.
25. BRITO, F.V. y GOULAO, J. 1973b. O interesse da calagem na cultura do eucalipto. *Lavoura* 121: 14-17.
26. BRITO, F.V.; PEREIRA A.J.C. y BALBINO, L.R. 1966. Influencia da adubacao no pegamento e crescimento do eucalipto. *Lavoura* 66, 3-4.
27. BROWN, P. 1998. Uptake and mobility of boron in plants. *In: I REUNIÃO TÉCNICA SOBRE O USO DE BORO EM PLANTAÇÕES FLORESTAIS*. IPEF [n.p.].
28. BRUSSA, C.A. 1994. *Eucalyptus*. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo. 328 p.
29. CALDERON S. 1992. Respuesta del *Eucalyptus globulus ssp globulus* a la preparación del sitios, control de malezas y enmiendas nutricionales. *Ciencia e Investigación Forestal* 6 (1): 6-22.
30. CALVO DE ANTA R. 1992. El eucalipto en Galicia. Sus relaciones con el medio natural. Universidad de Santiago de Compostela, La Coruña.
31. CAMPAL, N. y SCHIPILOV, A. 1999. The Eastern edge of the Plata Craton: A history of tangential collisions. *IN: A. K. Sinha (ed.), . Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. Basement Tectonics* 13: 33-48.
32. CARLIER, L.A. y VAN HEE, L.P. 1971. Microwave drying of lucerne and grass samples. *Journal of Sci. Fd. Agric.* 22: 306-307.
33. CANNON, P.G. 1981. Fourth results of forest fertilization with NPK, calfos and borax on an Andept soil. *Research Report Investigation Forestry*, 68, p.10.
34. CELPA. 2002. *Industria Papeleira Portuguesa. Boletín Estadístico 2001*. <http://www.celpa.pt/>
35. CIEDU. 2002. <http://www.uhu.es/cideu/>

36. COOLING, E.N. y JONES, B.E. 1970. The importance of boro and NPK fertilizer to *Eucalyptus* in the southern province, Zambia. E. Afr. For. J. (36): 185-194.
37. COOLING, E.N. 1967. Frost resistance in *Eucalyptus grandis* following the application of fertilizer borate. Rhod. Zamb. Mal. J. Agr. Res., 5.
38. CORMA, 2002 Corporación Chilena de la Madera. http://www.corma.cl/chile_pais_forestal/eucalip.html#inicio
39. COUTINHO, J., BENTO, J.S. y VALE, R. 1994. Efeito do boro em *Eucalyptus globulus* no Norte e Centro Interiores de Portugal. III Congresso Florestal Nacional, Actas 1, SPCF, Lisboa, p: 364-372.
40. COUTINHO, J.; BENTO, J.S. y VALE, R. 1995. Efeito da aplicação de boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no Norte e Centro de Portugal. 2º Relatório Intercalar, UTAD, Vila Real. 31pp.
41. COUTINHO, J.; BENTO, J.S. y VALE, R. 1996. Efeito da aplicação de boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no Norte e Centro de Portugal. Relatório Intercalar, trienio 1993-1996 UTAD, Vila Real. 31pp.
42. COUTINHO, J., BENTO, J.S. y VALE, R. 1999. Efeito da aplicação de boro em povoamentos de *Eucalyptus globulus* no Norte e Centro de Portugal. Relatório Intercalar, trienio 1996-1999 UTAD, Vila Real. 31pp.
43. CROMER, R.N. y WILLIAMS, E.R. 1982. Biomass and nutrient accumulation in planted *E. globulus* (Labill) fertilizer trial. Australian J. Bot. (30): 265-278.
44. CROMER, R. (1996). Silviculture of Eucalypt plantations in Austrália. In: Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 259-274.
45. CURBELO C. 1989. Respuesta de *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden y *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* (Kirkp) a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en suelos degradados de Canelones. Montevideo, Facultad de Agronomía, Tesis Ing. Agr. 76 pp.
46. DANIEL, T. W., HELMS, J. A., BAKER, F. S. 1979. Principios de Silvicultura. Ed. Mc. Graw Hill, México. 490p.

47. DELL, B. 1996. Diagnosis of nutrient deficiencies in eucalypts. *In: Nutrition of Eucalypts*. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia. pp: 417-440.
48. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FORESTRY of AUSTRALIA. 1997. National Plantation Inventory of Australia 1997.
49. DUGGER, W.M. 1983. Boron in plant metabolism. *In: LAÜCHLI, A., BIELESKI, R.L. (Eds.) Inorganic plant nutrition. Part B.*, Berlin: Springer-Verlag, p.626-650.
50. ESPAÑOL, E.; ZAS, R. y VEGA, G. 2000. Contenidos foliares en macro y micronutrientes en nueve especies de *Eucalyptus* en el noroeste español. *Anales del Instituto de Investigaciones Agrarias: Serie Forestal*. 9 (2):209-217.
51. ENCE 2001. <http://www.ence.es/>
52. FAO, 1979. Eucalypts for planting. FAO Forestry Series N° 11, Roma. 766 pp.
53. FERNÁNDEZ A.; GONZÁLEZ DEL RÍO, F. y MERINO A. 1998. Efectos de la fertilización sobre las concentraciones foliares de nutrientes en *Eucalyptus globulus*. Memoria de la Universidad de Santiago de Compostela para CEASA. Inédito.
54. FONSECA, S.; MALUF, J.L.P. y OLIVEIRA, A.C. 1993. Adubação com B e Zn de *Eucalyptus camandulensis* em solos de cerrado na região de Brasilândia. *In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6*, Campos do Jordão, 1993. Resumos. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. p.69.
55. GAST, J.A. y THOMPSON, T.G. 1959. Evaporation of boric acid from sea water. *Tellus*11, 345-7.
56. GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. y MONTAÑA, J. 1998. New advances on the geology and paleontology of the Vendian to Cambrian Arroyo del Soldado Group of the Nico Pérez Terrane of Uruguay. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* 1998: 106-118; Stuttgart.
57. GAUCHER, C. y SPRECHMANN, P. 1998. Grupo Arroyo del Soldado: paleontología, edad y correlaciones (Vendiano – Cámbrico Inferior, Uruguay). *Actas II Congreso Uruguayo de Geología*: 183-187; Montevideo.

58. GAUCHER, C.; SPRECHMANN, P. y SCHIPILOV, A. 1996. Upper and Middle Proterozoic fossiliferous sedimentary sequences of the Nico Pérez Terrane of Uruguay: Litostratigraphic units, depositional environments and correlations.- N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 199: 339-367; Stuttgart.
59. GAUCHER, C. 2000. Sedimentology, palaeontology and stratigraphy of the Arroyo del Soldado Group (Vendian to Cambrian, Uruguay). *Beringeria* 26: 1-120, Würzburg, Germany.
60. GAUCHER, C. & A. SCHIPILOV (1993). La secuencia arenosa - pelítica de Arroyo del Soldado. - Addenda. *In*: MONTAÑA, J. & P. SPRECHMANN: Calizas estromatolíticas y oolíticas y definición de la Formación Arroyo de la Pedrera (Vendiano, Uruguay). *Rev. Bras. Geoc.* 23(3):306-312. Sao Paulo.
61. GIL-SOTRES F. y DÍAZ-FIERROS F. 1982. El fósforo en suelos forestales de la sierra de Barbanza (Galicia, España). II. Estudio de la retención del P: relación entre la sorción y las propiedades de los suelos. *Agrochimica* 26, 204-212. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 9 (2), 2000
62. GOLBERG, S. 1993. Chemistry and mineralogy of boron in soils. *In*: Gupta, U.C.(ed) *Boro, and Its Role in Crop Production*, CRC Press, Boca Raton-Florida, 3-44
63. GONZALEZ, E.; PENALVA, F. y GOMEZ, C. 1985a. Concentración foliar de nutrientes en *Eucalyptus globulus*, según el tratamiento fertilizante y época de su aplicación. *Anales del Instituto de Investigaciones Agrarias: Serie Forestal.* 9:47-56.
64. GONZALEZ, E.; PENALVA, F. y GOMEZ, C. 1985b. Exigencias nutritivas de *Eucalyptus globulus* en el suroeste Español comparadas con otras especies. *Anales del Instituto de Investigaciones Agrarias: Serie forestal.* 9:63-74.
65. GONZÁLEZ-RÍO F.; LÓPEZ J.; ASTORGA R.; CASTELLANOS A.; FERNÁNDEZ O. y GÓMEZ C. 1997. Fertilización y control de la vegetación accesoria en plantaciones de eucalipto. *Comunicaciones II Congreso Forestal Español*, 3: 271-276.
66. GUPTA, U.C. 1968. Relationship of total and hot water-soluble boron and fixation of added boron to properties of Podzol soil. *Soil Science of American Proceedings*, 32(1):45-8.

67. HALL, N.; JOHNSTON, R.D. y MARRYATT, R. 1963. The natural occurrence of the Eucalypts. 2ª Ed. Canberra, Forestry and Timber Bureau, Forest Research Institute. (Leaflet N°65) 122p.
68. HARDER, H. 1978. Boron. *In*: Handbook of Geochemistry (Ed. K.H. Weepohl), pp 5-E-1-10, 5-I-1-3 (Springer- Verlag:Berlin)
69. HARPER, J.G.; EDWARDS, J. y MCGRATH, J. F. 2000. Relating the growth of Tasmanian blue gums to site conditions in south-western Western Australia. CALMSCIENCE, Western Australia Department of Conservation and Land Management, Climate Change Newsletter-Volume 12 Number February 2000 Edited by Michele Barson and Maureen Wright, ISSN 1037-1095.
70. HARTMANN, L. A.; CAMPAL, N.; SANTOS, J. O. S.; McNAUGHTON, N. J.; BOSSI, J. SCHIPILOV, A. & J. M. LAFON (2001). Archean crust in the Río de la Plata Craton, Uruguay – SHRIMP U-Pb zircon reconnaissance geochronology. *Journal of South American Earth Sciences* v. 14(6): 557-570. Elsevier.
71. HERBERT, M.A. 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. *In*: Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill, and M. A Adams. CSIRO, Melbourne, Australia. pp.123-153.
72. HINGSTON, F. J.; TURTON, A.G. y DIMMOCK, G.M., 1979. Nutrient distribution in Karri (*E. diversicolor* F. Muell.) ecosystems in southwest Western Australia. *Forest Ecology and Management*. 2, 133-158.
73. HINGSTON, F. J. 1986. Biogeochemical Cycling of Boron in Native Eucalypt Forests of South-western Australia. *Australian Forest Research* 1986 V16 , 73-83.
74. HINGSTON, F.J. y GAILITIS, V. 1976. The geographic variation of salt precipitated over Western Australia. *Aust. J. Res.* 14, 319-35.
75. HUORANG, W. y WENLONG, Z. 1996. Fertilizer and Eucalypt plantations in China. *In*: Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 389 -397
76. INFOR 1991. Estadísticas forestales 1990. INSTITUTO FORESTAL, Santiago, Boletín estadístico N° 21. 101p.

77. INFOR 2003. Información Estadística INFOR recursos. <http://www.infor.cl/webinfor/inforestad/estadisticas/recurso.htm>
78. INIA 2002. Seminario forestal: mejoramiento genético, silvicultura y sanidad de *Eucalyptus globulus* en la región sureste. Serie de Actividades de Difusión N° 289. 82p.
79. BRAÑAS, J.; F. GONZALEZ-RÍO, F. y MERINO, A. 2000. Contenidos y distribución de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus globulus* del noroeste de la península ibérica. *Annales del Instituto de Investigaciones Agrarias: Serie Forestal* V 9 (2):319-334.
80. JACOBS, M.R. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Roma, Italia. FAO Serie Montes N°11. 723 p.
81. JUDD T.S.; ATTIWILL P.M., ADAMS M. A. 1996. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: a synthesis in relation to differences between taxa, sites and components. *In: Nutrition of Eucalypts*. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia, pp. 123-154.
82. KELLY, S.; CHIPPEENDALE G. M., y JOHNSTON, R. D. 1983. *Eucalypts* V1, V2. Australia Nelson 1983 368p., 388p.
83. KEREN, R. y BINGHAM, F.T., 1985. Boron in water, soils and plants. *Adv. Soil Sci.* 1: 229-276.
84. KEREN, R.; BINGHAM, F.T. y RHOADES, J.D., 1985. Plant uptake of B as affected by B distribution between liquid and solid phases in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 45-48,
85. KRALL, J. 1970. Fundamentos para nuevas introducciones de *Eucalyptus* en el Uruguay. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Boletín N° 113. 22p.
86. KUBOTA, J.; BERGER, K.C. y TRUOG, E. 1948. Boron movements in soils. *Soil Science Society American Proceedings*, 13(2):130-134.
87. LAMB, D. 1976. Variations in foliar the foliar concentrations of macro and micro elements in fast-growing tropical eucalypt. *Plant and Soil.* 45:177-492.
88. LAMBERT, M.J.; TURNER J. y KELLY, S. 1983. Nutrient relationships of tree species in an New South Wales subtropical rainforest. *N. Z. For. Sci.* 7, 333-48.

89. LUBBE, W. F. 1992. Aspectos estratégicos a ser considerados para el desarrollo de la industria forestal. Proyecto Regional de Alternativas para las Inversiones Forestales (PRAIF), M.G.A.P. – O.E.A., Serie de Documentos de Divulgación Técnica N° 2. 37 p.
90. LOVATT, C.J. y DUGGER, W.M. 1984. Boron. *In: Biochemistry of the essential ultra trace elements*. Ed. E. Frieden, Plenum Publishing Corporation, New York, p.389-421.
91. LOVE, G.; YAINSHET, A. y DLUGOSZ, J. 1999. Forest products: outlook in regional markets to 2003–04. *In: Outlook 99, Proceedings of the National Agricultural and Resources Outlook Conference,* Canberra, 17–18 March, 1999. ABARE. 1, 237–48.
92. MADEIRA, M. y PEREIRA, J. S. 1991. Productivity, nutrient immobilization and soil chemical properties in an *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigations and fertilization regimes. *Water, Air and Soil Pollution* 54: 621-634.
93. M.G.A.P. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo.
94. MAFFEIS A. R.; VAZ DE ARRUDA R. L. y BRITO, J. O. 2000. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de Oleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis* 57:87-98.
95. MALAVOLTA, E. 1987. Manual de calagem e adubação das principais culturas agrícolas. São Paulo: Editora Ceres. 496p.
96. MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F y BRASIL, M.O.C. 1962. On the mineral nutrition of some tropical crops, 7-Eucalypts. Bern: International Potash Institute, 655p.
97. MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. y OLIVEIRA, S.A. 1997. Funções, princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. *In: MALAVOLTA, E.; VITTI, C.C.; OLIVEIRA, S.A., ed. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
98. MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press, 647p.

99. MAURICE, J. 1966. Geochimie du bore. *Ann. Agron.* 17: 367-402.
100. Mc LAUGHLIN M.J. 1996. Phosphorus in Australian forest soils. *In*: P. M Attiwill, M. A Adams (Eds.) *Nutrition of Eucalypts*, 1-30. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia.
101. MENGEL, K. y KIRKBY, E.A., 1982. *Principles of plant nutrition*. Bern: International Potash Institute, 655p.
102. MITCHELL, C. 1999. Nutrient Content of Fertilizer Materials. http://www.uq.edu.au/_School_Science_Lessons/anr-174.html . ANR-174, Revised Oct. 1999. Charles C. Mitchell, Extension Agronomist, Professor, Agronomy and Soils, Auburn University.
103. MILJKOVIC, N.S.; MATHEWS, B.C. y MILLER, M.H. 1966. The available boron content of the genetic horizons of some Ontario soils. I - The relationship between water soluble boron and other soil properties. *Can. J. Soil Sci.* 46:133-138.
104. MONTAÑA, J. y SPRECHMANN, P. 1993. Calizas estromatolíticas y oolíticas y definición de la Formación Arroyo de la Pedrera (Vendiano, Uruguay). *Revista Brasileira de Geociencias, Sao Paulo.* 23: 306-312.
105. NISHIMURA, M. y TANAKA, K. 1972. Seawater may not be a source of boron in the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 77, 5239-42.
106. PALMER y MURDOCK, 2000. The Boron Cycle. http://soil5813.okstate.edu/Nutrient_Cycles/Cycles_2000/boron.ppt
107. PEREIRA, J. S.; TOMÉ, M.; MADEIRA, M; OLIVEIRA, A.C.; TOMÉ, J. y ALMEIDA, M. H. 1996. Eucalypt plantations in Portugal. *In*: *Nutrition of Eucalypts*. Eds. P.M. Attiwill, and M. A Adams. CSIRO, Melbourne, Australia. pp.371-388.
108. PEREIRA, J. S.; LINDER, S.; ARAUJO, M.C.; PEREIRA, H.; ERICSSON, T.; BORRALHO, N. y LEAL, L. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantation. *In*: *Biomass Production by Fast-Growing Tree*. Eds. Pereira J.S. and Landsberg J.J., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.. 101-121 pp.
109. PILBEAM, D.J. y KIRKBY, E.A. 1983. The physiological role of boron in plants. *J. Plant Nutr.* 6: 563-582.

110. PINHEIRO, A.L. 1999. Efectos de la fertilización mineral de boro en el marchitamiento de apices de *Eucalyptus camandulensis* Dehnh. en el Cerrado de Minas Gerais, Brasil. *In: Simposio Internacional IUFRO: Desarrollando el Eucalipto del Futuro*. 14 p Valdivia, Septiembre 2001. Chile.
111. PRADO, J.A.D. y TORO, J.A.V., 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Chile. *In: Nutrition of Eucalypts*. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia.357-370
112. PRICHET, W.L. 1986. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento .Ed. Limusa, México. 1ª ed. 634 p.
113. REALI, P. 2000. Daños por falta de boro, disminución de la rentabilidad forestal de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* en el Sureste del Uruguay. *Forestal: Revista de la Sociedad de Productores Forestales* 5(15):25-7.
114. RITSON, P.; PETTIT, N.E. y Mc GRATH, J.F. 1982. Fertilising Eucalypts at Plantation, Establishment on Farmland in south-west Western Australia *Australian Forestry* 54 (3):139-147.
115. ROCHA FILHO, J.V; HAAG, H.P.; OLIVEIRA. O D. y SARRUGE, J.R., 1979. Influência do B no crescimento e na composição química do *Eucalyptus grandis*. *Brasil Florestal*, 39:29-33.
116. ROCHA FILHO, J.V.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, C.D. y SARRUGE, J.R. 1978. Deficiência de macronutrientes, B e Fe em *Eucalyptus urophylla*. *Anais da ESALO*. Piracicaba, 36(1):139-151.
117. ROLDÁN, M.; BELVER, A.; RODRIGUEZ-ROSALES, P.; FERROL, N. y DONAIRE, J.P. 1992. *In vivo* and *in vitro* effects of boron on the plasma membrane proton pump of runflower roots. *Physiologia Plantarum* 84:49-54.
118. RUBIO, B. y GIL-SOTRES, F. 1997. Distribution of four major forms of potassium in soils of Galicia (N.W. Spain). *Commun. Soil Sci. Plant. Anal* 28: 1805-1816.
119. SAGPyA 2002. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-4/Inventario/1Resultados.htm>
120. SPRECHMANN, P.; GAUCHER, C.; MONTAÑA, J. y SCHIPILOV, A. 1994. Fósiles del Precámbrico del Uruguay: unidades litoestratigráficas, edades,

correlaciones y ambientes de depositación.- Paleociencias del Uruguay (serie didáctica) 2: 6-9.

121. SAVORY, B.M., 1962. Boron deficiencies in eucalyptus in Northern Rhodesia. *Empire Forestry Review*. 41.118-126.
122. SCHUMACHER, M.V. 1998. Estudo da biomassa e dos nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardiere) subespecie *bicostata*. *Revista Arvore* 22(2) 281-286.
123. SGARBI, F.; VAZ DE ARRUDA, S.R.L.; TAKAHASHI, E.N. y FABIANO de CAMARGO, M.A. 1999. Crecimiento e Produção de biomassa de clone *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B y Zn. *Scientia Forestalis* N° 56-82.
124. SHARMA, M.L., WILLIAMSON, D.R. y HINGSTON, F.J. 1980. Water pollution a consequence of land disturbance in south-west of Australia. *In: Biogeochemistry of Ancient and Modern Environments*. (Eds. P.A. Trudinger and M.R. Walter) (Aust. Acad. Sci. and Springer-Verlag: Canberra).
125. SHEA, S.R.; BUTCHER, G.; RITSON, P.; BARTLE, J.R. y BIGGS, P. 1998. The potential of tree crops and vegetation rehabilitation to sequester carbon in Western Australia. *In: Proceedings Carbon Sequestration Conference*, Melbourne, 19-21 October, 1998.
126. SHORROCKS, V.M. 1989. Boron Deficiency -Its Prevention and Cure. Borax Consolidated Ltd., London, 44 p.
127. SILVEIRA, R.L.VA. 1996. Crescimento e estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* sob doses de B e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. Piracicaba, Tese (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 100p.
128. SILVEIRA, R.L.VA.; GONÇALVES, A.N.; SILVEIRA, R.I. y BRANCO, E.F. 1995. Levantamento nutricional de florestas de *Eucalyptus grandis* da região de Itatinga-SP:1- macronutrientes. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 25, Viçosa, 1995. Anais. Viçosa: SBCS, 1995. p.896-898.
129. SOARES, J. 1994. The role *Eucalyptus globulus* biomass production systems for the pulp industry in the economy of Portugal and the EEC. *In Eucalyptus for biomass Production. The State-of-the-art*. (Eds. Pereira J.S. and Pereira H.), (CEC, ISA: Lisbon.) p.283-286.

130. STAPE, J.L. 1992. Potencial de crescimento de *Eucalyptus grandis* numa Areia Quartzosa do Estado de São Paulo. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS*, 20, Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba: SBCS, 1992, p.172-173.
131. State of Forest Report (Forest Survey of India Dehradun) 1999. <http://envfor.delhi.nic.in/fsi/sfr99/sfr.html>
132. STEWART H.T.L.; HOPMANS P.; FLINN D.W. y CROATTO G. 1990. Harvesting effects on phosphorus availability in a mixed eucalypt ecosystem in southern Australia. *Forest Ecology Management* 36: 149-162.
133. STONE, E.L. 1990. Boron deficiency and excess in forest tree: a review. *Forest Ecology and Management* 37:49-75.
134. SUAREZ, D. y BONOMELLI de P. 1999. Demanda de N,P,K en los tres primeros años de crecimientos de *Eucalyptus nitens* Maiden y *Eucalyptus globulus* Labill en tres ecosistemas de la región VIII de Chile..In: Simposio Internacional IUFRO: Desarrollando el Eucalipto del Futuro. Valdivia, Septiembre 2001. Chile. 14 p
135. TORO, J. C.; GONZÁLEZ y JUSTINIANO, M. 2001. Interacción Silvicultura y Genética en *Eucalyptus globulus*. *In: Simposio Internacional IUFRO: Desarrollando el Eucalipto del Futuro*. Valdivia, Septiembre 2001. Chile. 14 p
136. TORO, J. 1988. Efectos de la fertilización en el desarrollo inicial de plantaciones de *Eucalyptus*. *In: Actas de Simposio Manejo Silvícola del género Eucalyptus* (Instituto Forestal, Santiago) Viña del Mar 1988.
137. TURVEY, N.D. 1980. A forests soils survey: II. The provision of factual soil framework for silvicultural management decisions. *Australian Forestry* 43:172-177.
138. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA-CONSEJO 1979. Grupos de Suelos, Índices de Productividad. Ministerio de Agricultura y Pesca. 157p.
139. USDA, 2001. Cultural Perspectives Micronutrients. USDA Forest Service. State and Private Forestry, FOREST NURSERY NOTES Summer 2001.(Eds. Steinfeld D. and Landis T. D.) 42pp.

140. VALE, R.; COUTINHO, J. y BENTO, J.S. 1994. A deficiência de boro em eucaliptos numa região de Trás-os-Montes .III Congresso Florestal Nacional, Actas 1, SPCF, Lisboa, 356-363 pp.
141. VAZ DE ARRUDA, y SILVEIRA R. L. 2000. Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênes de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva. PIRACICABA, SP- Brasil Fevereiro - 2000. Tese doutorado 182 p.
142. WEAR, J.I. y PATTERSON, R. M. 1962. Effect of pH and texture on the availability of water soluble boron in the soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:344-345.
143. WELLS, N. y WHITTON, J.S. 1977. A pedochemical survey. N.Z.J. Sci. 20:317-32.
144. WU XUECHAO y ZHAO XIAODONG 1989. *Eucalyptus globulus* planting in Yunnan Province. Journal of Science ad Technology of Eucalypts 2:1-10.

ANEXOS

ANEXO 1-a. Resultados de las mediciones de ALTURA TOTAL (en m) en dos fechas de muestreo en los sitios 1 y 2.

SITIO	ARBOL	PARCELA																				
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
		18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	
1	1	4.0	5.3	5.2	6.8	2.7	3.7	3.5	4.5	3.9	5.5	4.5	5.6	6.0	5.3	6.2	4.1	5.3	4.4	5.6	3.9	4.5
	2	5.0	6.0	4.6	6.3	4.9	6.3	4.7	6.8	4.3	6.0	5.6	6.7	5.5	6.5	7.7	2.7	4.0	4.6	6.0	3.5	4.8
	3	4.9	6.2	5.3	6.5	4.9	6.0	4.0	5.5	1.7	1.7	5.3	6.5	6.5	7.7	2.7	3.3	4.6	6.0	4.0	6.2	6.2
	4	5.2	6.0	5.5	6.4	2.7	3.3	4.7	6.0	4.3	5.3	4.9	6.0	4.5	6.6	6.6	4.8	4.8	4.4	5.9	4.5	6.3
	5	5.2	6.8	3.9	5.3	4.5	6.3	2.2	3.2	4.5	6.5	4.9	6.4	5.0	6.3	6.3	4.4	6.0	4.9	5.9	3.9	4.9
	6	4.8	6.3	3.3	3.8	5.8	6.8	4.9	6.5	4.2	6.0	5.1	6.7	5.0	6.7	6.7	5.1	6.2	4.9	6.6	3.9	5.4
	7	2.5	4.0	2.0	2.6	4.5	6.6	4.3	6.0	5.0	6.2	4.6	6.3	4.4	5.4	5.4	5.1	6.2	3.5	4.8	3.7	5.3
	8	3.7	4.1	4.7	6.5	3.6	5.1	3.5	4.1	4.5	6.4	3.9	4.9	4.6	6.3	6.3	4.0	5.2	4.1	5.2	4.0	6.0
	9	5.2	7.0	5.6	6.8	5.4	6.3	4.4	6.1	2.9	2.9	5.6	7.4	5.7	6.9	6.9	4.6	6.2	4.6	6.0	4.6	5.6
	10	5.1	6.3	4.9	6.0	5.6	6.6	3.5	3.5	3.5	3.5	5.1	6.5	5.6	7.6	7.6	1.8	2.4	4.9	6.5	4.9	6.4
	11	5.0	6.5	4.9	6.5	4.3	5.9	4.3	5.8	5.2	6.4	5.5	7.4	5.5	6.2	6.2	4.8	6.5	4.8	6.1	2.4	2.8
	12	4.4	5.5	4.9	6.1	4.4	5.2	4.8	6.0	5.7	7.3	5.4	7.0	5.8	7.4	7.4	4.0	5.3	4.8	6.0	4.7	6.4
	13	4.5	6.0	5.5	6.8	5.4	6.6	4.9	6.3	2.9	4.0	6.2	7.8	5.9	6.6	6.6	4.0	5.2	4.5	5.8	5.0	6.5
	14	5.2	6.5	5.3	6.4	2.3	3.0	5.4	6.5	2.1	3.0	5.5	7.0	6.1	7.2	7.2	5.2	7.0	4.6	6.0	5.1	6.5
	15	5.7	7.0	5.1	6.3	4.7	6.3	6.3	6.7	3.5	3.5	4.4	5.8	6.5	7.7	7.7	4.7	6.5	5.4	6.5	4.9	6.6
	16	5.4	6.5	5.4	6.3	5.1	6.3	4.7	5.5	4.7	6.0	4.1	5.7	5.9	6.6	6.6	3.5	5.2	4.3	5.5	4.7	6.2
2	1	8.6	10.5	4.8	7.2	7.0	9.2	8.0	10.0	8.6	10.0	6.8	8.0	6.0	7.7	6.0	8.7	7.0	7.5	5.9	7.3	7.3
	2	8.1	9.5	5.0	8.5	8.2	11.3	8.5	10.2	8.2	9.5	7.0	8.5	7.0	8.0	8.0	6.1	8.7	6.1	7.6	6.0	8.5
	3	8.6	11.0	7.0	10.5	6.8	9.0	8.2	10.3	8.2	9.5	7.7	9.5	7.5	8.5	8.5	6.7	9.0	7.0	8.8	6.8	8.4
	4	8.8	11.7	6.7	9.8	7.0	9.5	6.0	8.8	8.0	9.5	6.5	8.0	7.3	8.2	7.3	7.3	9.5	7.2	8.6	4.2	6.0
	5	8.0	9.3	6.9	10.0	6.5	7.8	8.2	9.5	8.2	9.8	7.5	9.0	7.3	7.8	7.8	6.8	9.5	6.0	8.3	7.4	10.5
	6	8.8	12.0	5.0	0.0	6.9	9.3	6.8	8.3	8.0	9.5	7.1	9.0	7.5	9.2	9.2	6.8	9.5	6.4	9.5	7.0	10.0
	7	8.7	12.1	6.6	9.5	6.4	8.9	7.8	8.5	7.8	9.4	7.5	9.4	7.5	9.6	9.6	6.8	8.7	6.0	7.8	7.1	9.5
	8	8.2	11.8	7.0	9.5	6.2	8.7	8.0	9.2	7.5	9.2	8.0	9.3	7.5	9.0	9.0	6.3	9.0	6.5	9.3	6.0	9.0
	9	8.2	10.9	6.2	8.8	6.0	9.3	8.0	10.5	7.5	9.0	7.5	9.0	4.3	4.5	4.5	7.5	9.5	7.4	9.0	6.5	8.5
	10	8.5	10.7	5.0	6.5	5.8	9.5	8.0	10.5	7.5	8.2	7.5	8.5	6.0	7.0	7.0	4.8	5.5	6.7	8.0	6.5	0.0
	11	7.0	9.5	7.9	10.5	6.0	9.5	8.0	10.6	6.2	8.0	7.6	8.8	7.3	9.6	9.6	6.0	8.0	6.7	8.8	7.0	9.0
	12	7.7	7.7	5.4	7.0	6.8	8.0	8.0	9.7	7.5	9.5	7.6	8.5	6.0	7.0	7.0	7.6	9.5	7.0	8.7	7.3	8.7
	13	8.0	8.5	6.5	9.5	6.5	7.5	7.5	10.0	7.8	9.5	7.7	9.7	7.2	9.0	9.0	7.6	9.0	6.3	7.5	7.4	9.0
	14	8.4	10.1	7.0	10.3	6.1	9.8	8.0	9.7	8.2	9.5	7.7	9.3	7.5	8.5	8.5	7.8	9.7	7.9	9.6	7.3	8.5
	15	8.4	10.7	5.5	8.5	8.2	9.5	7.5	9.5	8.2	10.0	6.5	8.5	7.0	8.3	8.3	6.2	6.8	6.0	6.8	8.3	8.8
	16	8.0	10.0	6.1	8.5	5.0	6.0	7.8	9.6	7.3	10.0	7.8	9.0	6.0	7.5	7.5	6.0	7.0	4.1	5.3	7.3	9.0

ANEXO 1-b. Resultados de las mediciones de ALTURA TOTAL (en m) en dos fechas de muestreo en los sitios 3 y 4.

SITIO	ARBOL	PARCELA																				
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
		18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	
3	1	2.3	2.5	3.7	4.5	2.0	2.5	3.9	4.9	3.5	4.4	3.5	4.2	3.4	3.9	3.2	4.2	2.0	2.8	2.3	2.8	
	2	3.3	4.5	3.7	4.7	2.4	3.2	4.2	5.2	3.7	4.2	1.9	2.3	2.3	3.6	3.0	3.9	2.7	3.8	2.2	2.9	
	3	2.5	3.7	2.9	3.7	2.2	3.0	3.9	5.0	2.5	3.2	4.2	4.5	3.5	4.0	3.1	4.0	1.6	2.7	3.2	3.8	
	4	1.9	2.9	1.8	2.1	2.3	3.1	3.3	4.3	1.1	1.4	2.8	3.8	2.3	3.0	1.8	2.7	1.8	2.2	2.1	2.9	
	5	3.8	5.1	3.5	4.6	1.2	1.3	2.5	3.8	2.8	3.7	4.2	4.5	1.9	2.4	1.6	1.9	1.3	1.8	3.2	4.2	
	6	1.7	2.1	3.3	4.5	2.0	2.8	3.2	4.0	2.7	3.6	1.8	2.3	2.3	2.8	2.4	3.9	2.8	3.7	1.9	2.3	
	7	4.7	5.5	3.1	3.9	3.8	4.7	1.3	1.6	2.6	3.5	4.1	4.6	2.9	3.9	2.2	3.5	2.1	3.8	1.6	2.2	
	8	2.1	2.4	3.7	4.6	4.3	4.7	3.7	4.2	4.0	4.1	4.5	5.2	3.2	4.1	2.7	3.9	2.5	3.4	2.5	3.5	
	9	2.4	3.2	1.4	1.6	3.3	3.7	1.2	1.6	2.2	2.8	2.8	3.4	3.2	3.9	1.5	1.9	2.6	3.8	2.5	3.7	
	10	2.1	3.9	1.5	2.0	3.1	3.6	1.8	2.2	2.4	3.0	4.2	4.8	2.5	3.1	1.8	2.1	2.4	3.5	2.0	2.3	
	11	1.2	1.5	2.2	2.8	2.4	2.9	4.0	5.0	1.5	2.4	3.0	3.9	4.1	4.7	2.0	2.3	2.1	4.0	2.3	3.5	
	12	2.0	4.3	2.3	3.0	3.0	3.8	4.0	4.8	2.5	3.5	2.0	2.3	3.7	3.8	2.7	3.7	1.8	2.8	3.0	4.6	
	13	2.4	3.2	3.6	4.3	2.5	3.1	2.2	2.9	1.6	2.4	2.0	2.5	4.4	5.0	2.8	3.9	2.5	2.9	2.5	3.2	
	14	4.0	4.4	2.3	3.0	2.4	3.2	3.1	3.6	2.0	3.1	3.6	4.5	2.6	5.2	2.5	3.3	2.0	2.6	2.2	2.8	
	15	2.0	2.8	3.2	4.1	2.3	2.9	2.8	3.5	3.5	4.3	4.8	2.9	4.0	2.4	3.0	2.2	3.3	1.9	2.5	1.7	2.3
	16	3.6	4.9	3.2	4.1	4.1	4.8	3.8	4.3	4.8	5.2	4.0	4.5	1.7	4.0	1.5	1.9	3.0	4.3	2.5	3.3	
4	1	3.3	4.8	3.4	4.5	3.6	4.5	3.8	5.5	3.8	5.4	4.5	4.9	4.3	4.8	2.6	4.9	3.1	4.6	3.7	4.8	
	2	2.9	3.5	3.0	3.5	1.4	1.9	3.9	5.1	4.9	5.7	4.7	5.5	3.8	4.7	3.1	4.8	2.9	4.6	2.5	3.2	
	3	3.2	4.6	4.1	5.8	3.8	5.0	4.0	5.2	4.5	5.7	4.5	4.8	3.8	4.5	4.0	5.0	3.4	4.8	4.5	5.8	
	4	3.3	3.8	1.9	3.5	3.4	4.3	5.0	6.0	2.8	4.3	3.9	4.7	2.7	4.6	2.5	4.0	4.6	5.8	3.0	4.5	
	5	4.4	5.1	2.1	2.9	3.8	4.4	5.9	6.6	3.6	4.5	3.8	5.0	3.9	4.9	3.4	5.2	4.4	5.2	2.9	5.0	
	6	2.8	3.8	3.9	4.7	1.8	2.8	3.5	4.5	4.9	5.5	4.3	5.4	2.8	4.6	3.4	4.9	4.3	5.1	2.0	2.9	
	7	4.7	5.8	3.8	4.7	1.4	2.0	5.9	6.3	4.7	5.6	2.6	3.3	4.1	4.8	2.9	3.8	2.9	4.0	4.1	5.1	
	8	2.2	3.8	2.8	2.8	3.8	4.2	2.9	3.4	4.7	5.6	2.0	2.8	4.3	4.8	3.8	5.0	3.1	5.2	2.9	3.8	
	9	4.4	5.0	2.3	3.4	3.8	4.3	4.6	5.3	2.7	4.9	3.9	5.0	2.0	2.8	1.9	2.8	4.1	5.0	2.3	3.4	
	10	2.2	2.6	1.5	1.9	3.3	5.4	1.8	3.3	3.3	3.4	2.8	3.9	3.5	4.7	2.8	3.6	3.6	4.3	2.5	3.6	
	11	3.4	5.0	3.9	4.9	2.1	2.8	4.5	5.8	3.8	5.0	3.4	4.6	2.5	4.0	3.5	5.1	2.6	4.5	2.2	3.3	
	12	4.1	5.6	2.3	3.5	3.5	4.8	3.5	5.0	4.5	5.4	3.5	4.6	2.7	3.6	2.4	4.0	1.6	2.0	4.0	5.9	
	13	2.3	3.4	2.7	3.7	3.7	5.2	3.8	5.3	4.5	5.3	5.0	5.6	2.7	3.3	2.3	3.8	2.8	4.4	2.3	3.2	
	14	2.5	3.8	3.5	4.1	4.6	6.2	4.3	5.5	2.8	4.3	2.2	2.7	3.7	4.7	2.6	4.3	3.1	4.6	2.4	3.6	
	15	4.2	5.7	3.3	4.0	4.1	5.0	4.0	5.1	4.6	5.6	3.9	4.8	3.7	4.7	3.8	4.9	4.7	6.0	3.1	4.3	
	16	3.1	4.3	2.5	3.6	2.1	3.0	4.2	5.4	4.0	4.0	5.2	3.8	4.8	3.6	4.7	3.1	4.4	1.9	3.3	3.8	5.2

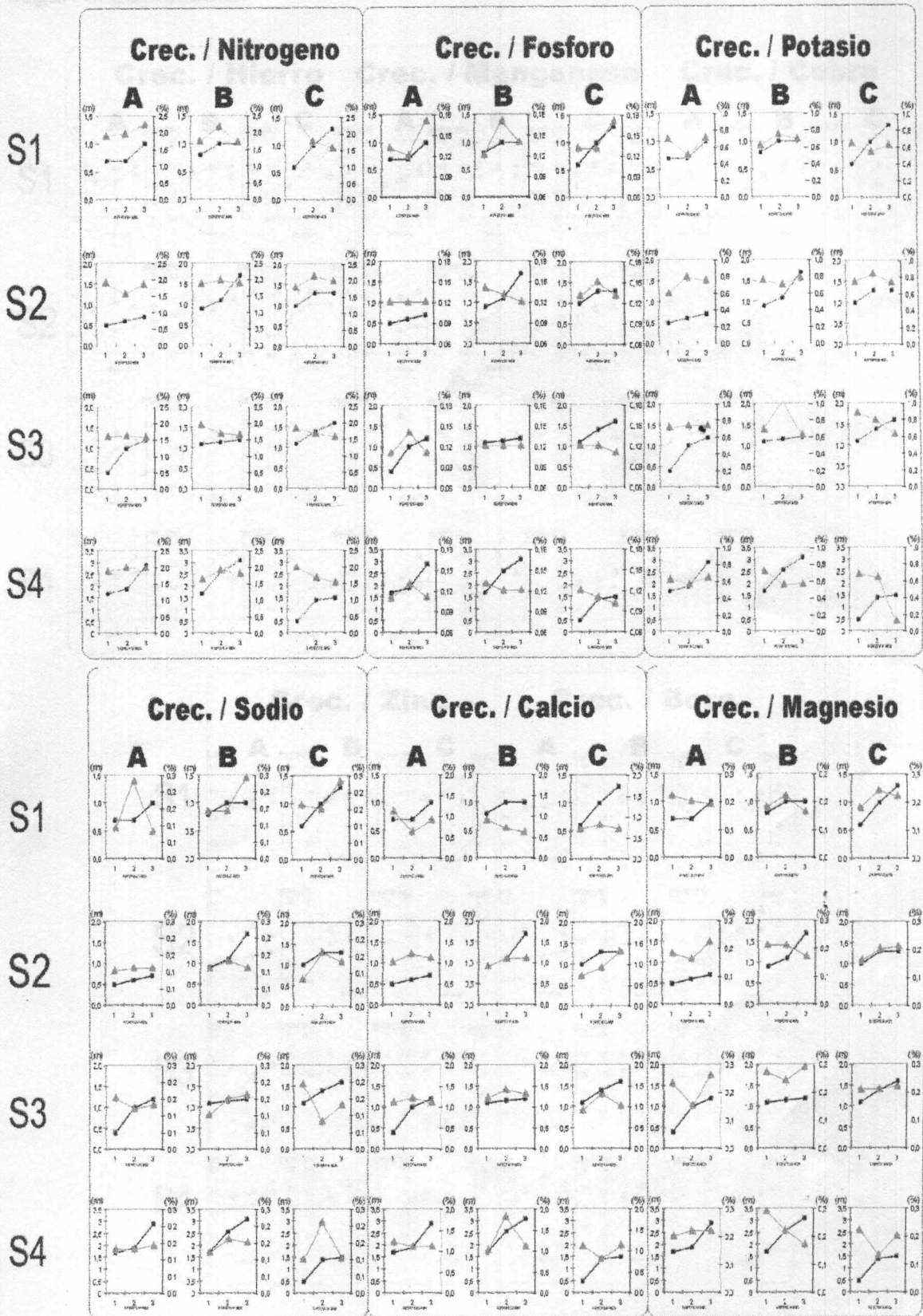
ANEXO 2-a. Resultados de las mediciones de DAP (en cm) en dos fechas de muestreo en los sitios 1 y 2.

SITIO	ARBOL	PARCELA																				
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		
		18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	18/1/01	1/03/02	
1	1	2.0	2.5	4.1	5.0	1.1	2.0	4.0	5.1	3.5	4.9	3.4	5.3	3.2	4.2	4.2	4.2	1.3	2.1	1.7	2.5	
	2	3.8	4.5	3.9	5.2	1.6	2.4	4.6	5.6	3.1	4.0	1.2	1.6	1.5	2.1	2.5	3.3	2.5	2.7	1.1	2.4	
	3	2.0	3.4	2.2	3.2	2.2	2.6	3.4	4.2	2.0	3.2	4.2	5.2	3.4	4.3	2.6	3.4	3.2	3.7	3.0	4.0	
	4	0.8	1.8	0.8	1.5	1.9	3.0	3.2	4.1	2.0	2.1	2.2	2.5	2.0	2.4	1.2	2.3	0.7	1.5	1.1	2.2	
	5	4.2	5.4	4.0	5.0	1.1	1.8	2.0	3.2	2.0	3.0	4.6	6.4	1.4	2.0	0.7	1.2	1.7	3.5	3.1	3.8	
	6	0.5	1.3	3.7	5.0	1.2	1.9	3.3	4.4	1.6	2.5	1.0	2.0	1.3	2.1	3.4	4.3	2.4	3.0	0.7	2.0	
	7	6.7	8.0	2.9	4.5	4.8	5.5	2.0	2.5	2.0	2.5	5.0	6.0	2.4	3.4	2.0	4.0	2.4	3.0	0.5	1.6	
	8	1.2	2.0	3.6	5.4	5.2	6.0	3.4	4.7	4.1	5.2	6.0	7.1	3.3	4.2	1.7	2.7	2.1	2.8	1.8	3.1	
	9	1.7	2.8	2.0	3.3	3.4	4.5	2.0	3.0	1.4	2.0	2.1	2.7	3.6	3.8	0.4	1.1	2.6	3.2	1.2	2.6	
	10	3.2	4.1	2.8	3.0	2.8	3.4	1.9	2.0	1.7	3.0	4.2	5.7	2.0	3.5	1.0	1.7	1.7	2.7	0.7	2.1	
	11	2.4	3.0	1.9	2.3	1.6	2.4	4.3	5.3	2.4	3.8	3.0	3.2	3.8	3.8	4.9	1.4	2.0	3.3	4.2	1.4	3.9
	12	3.6	4.0	2.0	2.3	3.5	4.9	4.4	5.8	2.0	3.0	1.1	2.0	3.7	4.0	2.8	3.3	0.6	1.5	3.0	2.5	
	13	2.6	2.7	4.2	4.5	2.4	3.4	1.3	1.8	2.2	2.7	1.4	2.2	3.1	5.0	3.0	3.5	1.4	2.6	2.0	2.4	
	14	4.1	4.7	1.4	4.5	2.0	3.0	3.4	4.0	1.2	2.2	2.7	4.1	2.4	5.2	2.1	2.6	1.2	1.7	1.7	2.5	
	15	1.1	2.0	3.5	4.2	1.6	2.4	2.4	3.0	3.6	5.6	2.3	3.2	1.7	3.0	1.0	2.5	1.5	1.9	0.8	1.5	
	16	3.4	4.9	2.9	3.5	4.3	5.5	4.2	5.0	4.5	7.0	4.0	6.7	0.5	4.0	0.5	1.0	3.2	4.0	2.0	2.9	
2	1	2.8	3.6	4.0	4.9	4.1	5.2	4.3	5.6	5.0	5.6	4.6	5.2	4.9	6.0	3.9	5.1	3.4	3.9	3.4	4.5	
	2	2.5	3.2	2.8	3.5	2.6	3.0	4.2	4.6	5.2	6.1	5.4	7.3	3.8	4.8	3.4	4.2	2.9	4.2	2.9	3.0	
	3	3.6	4.0	4.5	6.0	4.0	5.3	4.4	5.0	5.4	5.6	4.7	5.1	3.2	3.5	4.3	5.0	3.7	5.2	5.4	6.4	
	4	3.6	4.1	2.9	4.0	3.4	4.5	4.9	6.0	2.4	3.4	2.8	3.6	3.6	4.3	1.8	3.0	4.6	5.4	3.2	4.1	
	5	4.9	5.3	1.4	2.1	4.8	6.1	5.3	8.0	3.5	4.7	3.1	3.6	3.6	4.4	5.7	6.6	5.6	6.5	3.5	5.2	
	6	2.4	5.3	5.1	5.8	7.0	1.7	4.0	4.3	5.9	6.7	4.8	6.0	3.5	4.7	4.3	5.1	4.4	5.4	1.4	2.8	
	7	5.3	6.0	4.5	5.0	0.7	1.1	6.3	7.4	6.2	6.6	2.6	3.2	3.9	5.2	2.8	3.5	3.4	3.7	3.9	5.3	
	8	1.4	6.2	4.0	4.2	4.0	4.2	2.5	3.1	5.1	6.1	2.0	2.4	4.6	5.6	4.3	5.2	2.5	3.3	2.4	3.0	
	9	4.9	6.0	2.0	3.0	3.1	3.9	4.9	6.0	4.0	4.6	4.0	4.5	1.7	2.3	1.2	2.0	4.8	5.5	1.6	3.0	
	10	1.2	2.4	2.4	2.6	5.0	5.7	0.8	3.5	3.2	3.5	2.4	3.0	3.9	4.7	3.1	4.0	5.1	6.6	2.6	4.0	
	11	3.0	4.1	4.0	4.8	1.1	2.0	5.6	6.4	4.0	5.1	3.0	3.8	2.5	3.3	4.1	5.1	2.4	3.4	2.0	2.5	
	12	5.0	6.0	1.5	2.4	3.2	4.3	3.9	4.6	5.1	6.0	2.9	3.6	2.6	3.5	3.0	3.3	0.6	1.5	5.2	6.0	
	13	1.2	2.3	2.0	2.9	4.2	5.1	3.7	4.8	5.6	6.8	7.8	8.0	2.3	3.2	2.0	3.2	2.4	3.5	2.4	2.8	
	14	2.6	3.1	3.4	4.6	6.5	7.1	4.7	6.0	2.8	3.6	1.2	1.6	4.1	5.1	2.4	3.2	3.4	4.5	1.4	2.6	
	15	6.0	6.5	2.5	3.0	4.4	4.9	4.9	5.9	5.1	6.1	4.4	4.4	3.8	4.4	3.8	4.4	5.4	7.7	3.4	4.4	
	16	2.8	3.8	2.0	2.8	1.9	2.0	4.4	5.2	3.5	4.6	5.0	5.7	4.2	5.0	2.9	4.0	1.2	2.3	4.2	4.4	

ANEXO 2-b. Resultados de las mediciones de DAP (en cm) en dos fechas de muestreo en los sitios 3 y 4.

SITIO	ARBOL	PARCELA																			
		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02	18/11/01	1/03/02
3	1	4,2	5,3	5,7	7,0	2,6	3,5	3,5	5,0	4,2	5,5	5,0	6,7	6,0	8,0	4,3	5,1	4,0	5,5	4,4	5,3
	2	6,2	7,6	5,2	7,2	5,7	7,2	6,4	6,8	5,4	6,2	7,0	8,0	6,2	7,2	4,7	6,0	5,0	6,6	3,3	4,5
	3	6,4	7,1	5,2	7,7	5,2	6,0	4,4	5,3	1,0	1,0	7,0	7,8	7,3	8,8	2,0	2,5	5,2	5,5	4,0	5,2
	4	5,2	6,0	6,2	8,8	2,3	3,1	4,7	6,5	4,2	5,0	5,0	6,6	5,6	7,4	5,2	6,1	5,0	5,4	5,6	7,0
	5	4,0	7,5	4,1	5,1	5,7	7,0*	2,0	2,5	5,7	6,8	5,6	7,0	7,2	7,9	4,0	5,6	5,2	5,7	3,5	4,0
	6	5,4	6,4	3,0	3,2	6,4	7,7	6,2	7,1	4,6	6,1	5,6	6,8	7,1	8,0	5,4	7,0	5,2	6,8	4,5	5,5
	7	2,2	3,3	2,2	2,8	6,6	7,2	4,9	6,0	6,0	6,9	5,3	6,5	4,0	4,6	4,6	5,1	7,1	3,6	4,5	3,3
	8	3,6	4,1	5,7	6,8	2,0	4,9	2,6	3,1	6,0	7,1	4,6	5,8	5,7	7,0	4,1	5,4	4,2	5,8	4,5	6,7
	9	5,4	7,6	6,0	7,0	6,2	7,1	5,7	6,4	3,0	3,3	8,3	9,0	7,8	8,8	5,0	6,0	4,2	5,7	4,3	6,0
	10	5,3	6,9	5,0	6,4	6,4	7,5	4,5	4,5	2,5	2,5	6,0	7,5	7,5	8,5	1,0	2,0	5,0	6,0	5,4	6,6
	11	5,6	6,6	5,2	7,6	5,0	6,0	5,2	6,2	5,4	6,7	7,3	8,3	6,5	7,0	6,2	7,3	4,8	5,4	2,2	3,0
	12	4,4	5,5	5,2	6,4	4,0	5,1	5,4	6,3	6,4	8,0	7,0	7,7	8,0	9,7	4,0	4,8	4,5	6,0	5,7	7,4
	13	5,1	6,6	5,8	7,1	6,2	6,7	5,6	7,0	2,3	4,1	7,6	8,6	7,5	8,2	4,0	5,0	4,0	5,2	5,4	7,0
	14	5,3	7,0	5,4	7,0	1,6	2,5	7,0	7,4	1,4	2,2	6,9	8,2	7,2	8,2	6,5	8,3	4,7	6,1	6,2	8,3
	15	6,0	7,2	4,8	6,3	6,0	7,2	6,9	8,5	2,6	3,0	4,9	5,6	8,3	9,5	6,0	8,5	5,5	8,5	6,1	7,7
	16	5,0	6,7	5,2	6,5	5,7	6,1	4,8	5,3	6,0	6,6	4,0	5,2	8,0	9,2	3,5	4,5	5,0	6,1	5,0	6,8
4	1	9,5	10,5	5,6	6,4	8,4	9,3	9,0	10,1	11,6	11,6	7,8	8,2	6,0	7,5	7,5	8,3	6,4	6,9	5,5	6,7
	2	7,2	8,2	6,7	8,3	8,8	9,9	10,5	11,6	8,4	8,8	7,1	11,4	7,6	8,1	7,6	9,1	8,0	8,9	6,7	7,8
	3	8,2	9,3	8,4	8,6	8,2	9,2	9,2	10,0	8,0	9,4	7,9	10,4	9,0	10,1	9,6	9,6	9,2	10,6	8,0	8,6
	4	9,4	10,2	8,6	9,0	9,7	10,4	8,0	9,0	7,8	8,6	7,2	7,7	9,4	9,9	9,8	11,3	9,8	10,2	4,1	4,9
	5	8,4	9,7	8,6	10,3	6,0	6,4	9,6	10,0	9,3	9,8	9,6	10,0	9,2	9,7	9,0	9,5	8,3	9,4	9,6	10,4
	6	9,4	10,8	4,7	muerto	9,6	10,9	5,6	6,7	7,3	8,0	7,7	8,7	11,4	11,6	8,2	10,3	11,9	13,6	8,2	9,7
	7	9,2	9,2	8,4	9,9	9,4	9,5	6,1	6,9	10,0	11,0	8,4	9,2	9,3	10,1	9,2	10,2	5,9	6,2	11,1	12,5
	8	8,9	10,3	10,0	10,7	8,0	9,6	7,9	8,9	7,1	7,9	8,1	9,4	8,4	8,3	8,0	8,6	9,7	11,0	7,4	7,4
	9	9,9	10,7	8,0	8,7	7,0	7,5	7,8	9,2	8,2	9,4	9,4	10,5	4,0	4,6	9,6	10,0	9,7	10,6	7,6	8,6
	10	8,0	9,0	5,4	5,8	8,2	9,0	7,9	8,8	7,3	7,8	7,8	8,2	5,0	5,3	3,2	3,9	8,7	8,9	5,3	muerto
	11	9,3	10,3	9,5	11,0	8,8	9,7	8,5	9,7	5,0	5,2	8,5	8,8	9,3	10,5	6,9	9,0	8,9	10,1	8,9	9,2
	12	6,2	6,5	6,0	6,2	7,5	8,4	7,7	9,3	8,0	8,3	8,5	8,8	4,2	4,6	7,0	10,1	10,6	12,2	9,7	10,2
	13	6,6	8,8	9,0	9,8	6,3	7,0	8,0	9,2	8,2	9,3	9,0	10,3	9,0	9,8	7,6	8,9	8,2	8,6	9,2	9,9
	14	9,3	10,2	9,9	10,4	8,8	10,1	7,9	9,0	8,0	8,2	9,5	10,1	9,2	10,7	10,5	12,0	10,4	11,4	9,0	9,1
	15	9,8	10,7	7,4	8,0	8,3	9,5	8,0	9,2	8,0	8,2	7,2	7,4	8,8	10,1	5,0	6,8	6,6	7,7	10,3	10,9
	16	9,0	9,9	9,3	9,9	4,7	5,5	9,8	11,5	6,6	7,0	9,8	10,5	6,2	6,8	6,7	8,2	4,0	5,1	8,2	9,7

Anexo 3.a: Gráficos de crecimiento en Altura Total (m) y Concentración Foliar de Macronutrientes (%), en árboles muestreados en los 4 sitios, y según el tratamiento.



Anexo 3.b: Gráficos de crecimiento en Altura Total (m) y Concentración Foliar de Micronutrientes (ppm), en árboles muestreados en los 4 sitios, y según el tratamiento.

