

FERTILIZACIÓN CON BORO EN PLANTACIONES DE *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en TABASCO

BORON FERTILIZATION IN PLANTATIONS OF *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake in TABASCO

Mitzzy I. Rodríguez-Juárez¹; Alejandro Velázquez-Martínez¹; Armando Gómez-Guerrero¹; Arnulfo Aldrete¹; Marivel Domínguez-Domínguez².

¹Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. MÉXICO.

Correo-e: alejvela@colpos.mx Tel: 595 95 202 00 ext. 1470 (Autor para correspondencia).

²Colegio de Postgraduados campus Tabasco. Carretera libre Cárdenas-Coatzacoalcos km 21, Poblado C-27. C. P. 86500. Cárdenas, Tabasco. MÉXICO.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en plantaciones comerciales de *Eucalyptus urophylla* de la empresa Forestaciones Operativas de México, S. A. de C. V. (FOMEX) en Huimanguillo, Tabasco, México, con la finalidad de conocer el efecto de la adición de boro (B) sobre el crecimiento de dicha especie. Se dio seguimiento a 199 árboles de *E. urophylla* que recibieron diferentes dosis de B (0, 6 y 12 g·árbol⁻¹) durante el establecimiento. El diámetro y la altura de los árboles se midieron a las edades de 1.5, 4.5 y 11 años. Se realizó un muestreo destructivo separando fuste, ramas, ramillas + hojas, para la cuantificación de biomasa y su distribución. El contenido total de nutrimentos en el follaje se evaluó y la respuesta a la aplicación de B se midió a través de un diagnóstico gráfico de vectores. Los resultados mostraron que el B favoreció el crecimiento en altura y volumen, pero este efecto no se observó en la acumulación de biomasa aérea. El análisis de vectores mostró incremento en el contenido de P, K y Ca en el follaje cuando el B se aplicó en dosis de 6 g·árbol⁻¹. En dosis mayores (12 g·árbol⁻¹), la biomasa foliar se redujo presentando contenidos netos y concentraciones similares en las hojas más pequeñas.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento, biomasa aérea, nutrimentos, análisis de vectores.

ABSTRACT

This study was carried out in commercial *Eucalyptus urophylla* plantations owned by the Forestaciones Operativas de México, S.A. de C.V. (FOMEX) company in Huimanguillo, Tabasco, Mexico, to determine the effect of boron (B) fertilization on the growth of this species. Follow-up was given to 199 *E. urophylla* trees that received different B doses (0, 6 and 12 g·tree⁻¹) during establishment. Tree diameter and height were measured at 1.5, 4.5 and 11 years of age. Destructive sampling was performed by separating the bole, branches, twigs + leaves to quantify biomass and its distribution. In addition, total leaf nutrient content was evaluated and the response to B application was measured using vector analysis. Results showed that B fertilization favored growth in height and wood volume, but this effect was not observed in aerial biomass accumulation. Vector analysis showed increased leaf P, K and Ca content when B was applied at a dose of 6 g·tree⁻¹. At the higher dose (12 g·tree⁻¹), foliar biomass was lower, presenting similar net nutrient contents and concentrations to those of the smallest leaves.

KEYWORDS: Tree growth, aerial biomass, nutrients, vector analysis.



Recibido: 05 de septiembre, 2013

Aceptado: 19 de mayo, 2014

doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.09.038

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

En México, el género *Eucalyptus* ocupa la segunda posición de mayor superficie plantada con especies maderables, representando 20.1 % del total (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2012). Las plantaciones forestales comerciales (PFC) constituyen una fuente cada vez más importante de abastecimiento de madera para diversos fines. Dichas plantaciones se perciben como una solución ambiental alternativa deseable, cuando el aprovechamiento de los bosques naturales (especialmente de edad madura) no garantiza la conservación del recurso forestal ni beneficios socioeconómicos sostenidos para las comunidades (Rivera, Fierros, Vázquez, Gómez, & Velázquez, 2008). Por tanto, las PFC (en particular, las de turno corto) se manejan como sistemas intensivos y reciben un aporte nutrimental importante por medio de fertilizaciones (Rengel, 2007), aunque los métodos intensivos puedan conducir al agotamiento de la fertilidad del suelo y a problemas nutrimentales permanentes (Pritchett, 1990). Por otro lado, la productividad de los sistemas forestales está relacionada con una serie de factores ambientales que comprenden la radiación solar, temperatura y agua, así como la disponibilidad y absorción de nutrientes; esta última sigue siendo un factor crítico en los sistemas intensivos (Binkley, 1993). En el sureste de México, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake es considerada como una especie con mayor capacidad para aprovechar los nutrientes del suelo y que, además, está mejor aclimatada a suelos poco fértiles (Pérez, Gómez, Fierros, & Horwath, 2012).

Entre los elementos esenciales para las plantas se encuentra el boro (B), el cual es un micronutriente deficiente comúnmente en las plantaciones forestales, que puede causar la muerte de ramas terminales y provocar crecimiento deficiente (Pritchett, 1990). El B juega un papel fundamental en la estructura de la pared celular de las plantas, además de que se comienza a investigar más sobre su función en la membrana celular. Cuando la adición de B es inadecuada, se manifiestan desórdenes severos en el crecimiento de los árboles (Lehto, Ruuholaa, & Dellb, 2010). Las deficiencias de B se han presentado en plantaciones forestales de más de 80 países (Shorrocks, 1997), principalmente en sitios con suelos con pH alcalino (Bell & Dell, 2008).

El propósito de este estudio fue determinar el efecto de la aplicación de distintas dosis de B en la fase de establecimiento, sobre el crecimiento de *E. urophylla*, así como conocer el efecto de la adición de dicho elemento sobre la biomasa aérea y sobre el contenido de nutrimentos en follaje. El estudio se realizó en Huimanguillo, Tabasco. En este trabajo se consideró que hay tres factores importantes para justificar la aplicación de B en las plantaciones de eucalipto: 1) los suelos del área varían de ligeramente ácidos a alcalinos (Pérez et al., 2012), 2) la alta precipitación del lugar (mayor de 2,000 mm) favorece las pérdidas de B del suelo y 3) en los sistemas intensivos de eucalipto del sureste de México no hay reportes sobre la respuesta al B.

INTRODUCTION

In Mexico, the genus *Eucalyptus* covers the second largest area planted with timber species, accounting for 20.1 % of the total (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2012). Commercial forest plantations (CFPs) are an increasingly important source of wood supply for various purposes. These plantations are perceived as a desirable alternative environmental solution, when the logging of natural forests (especially old growth ones) does not ensure either the conservation of forest resources or sustained economic benefits for communities (Rivera, Fierros, Vázquez, Gómez, & Velázquez, 2008). Therefore, CFPs (particularly those of short rotation) are managed as intensive systems and receive an important nutrient input through fertilization (Rengel, 2007), although such intensive methods can lead to loss of soil fertility and permanent nutrient problems (Pritchett, 1990). On the other hand, the productivity of forest systems is related to a number of environmental factors including solar radiation, temperature and water, and nutrient availability and uptake; the latter continues being a critical factor in intensive systems (Binkley, 1993). In southeastern Mexico, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake has been considered as a species with greater ability to exploit soil nutrients and to also be better acclimated to soils with poor fertility (Pérez, Gómez, Fierros, & Horwath, 2012).

One of the essential elements for plants is boron (B), which is a commonly deficient micronutrient in forest plantations, which can cause death of terminal branches and result in poor growth (Pritchett, 1990). B plays a critical role in the cell wall structure of plants, and research has begun to further study its role in the cell membrane. When B addition is inadequate, severe disorders occur during tree growth (Lehto, Ruuholaa, & Dellb, 2010). B deficiencies have been found in forest plantations in over 80 countries (Shorrocks, 1997), mainly on sites with soils with alkaline pH (Bell & Dell, 2008).

The aim of this study was to determine both the effect of applying different B doses in the establishment phase on the growth of *E. urophylla*, and the effect of adding this element on aerial biomass and leaf nutrient content. The study was conducted in Huimanguillo, Tabasco. This study took into account that there are three important factors to justify B application in eucalyptus plantations: 1) area soils range from slightly acidic to alkaline (Pérez et al., 2012), 2) high area rainfall (greater than 2,000 mm) favors soil B losses and 3) there are no reports on B response in the intensive eucalyptus systems of southeastern Mexico.

MATERIALS AND METHODS

The eucalyptus plantations studied belong to the Forestaciones Operativas de México S.A. de C.V. (FOMEX) company. The plots are located on the so-called Antonio Alemán property, in the community of Gregorio Méndez, Huiman-

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantaciones de eucalipto estudiadas pertenecen a la empresa Forestaciones Operativas de México S. A. de C. V. (FOMEX). Las parcelas se ubican en el predio denominado Antonio Alemán, en la comunidad Gregorio Méndez, Huimanguillo, Tabasco, entre las coordenadas 17° 40' 38.7" N - 93° 69' 36.2" W y 17° 40' 32.1" N - 93° 36' 26.2" W. Las plantas de *E. urophylla* fueron producidas por semilla y se establecieron en la plantación en el año 2000, a un espaciamiento de a 3.5 x 2.6 m.

La fertilización inicial consistió en 60 g de 18-46-00 a las tres semanas de plantación y 100 g de 18-46-00 a los seis meses de establecida la plantación; adicionalmente, a las cinco semanas del establecimiento, se aplicaron tres niveles de B en forma de bórax en un radio de 25 cm alrededor del tallo. Los niveles de B evaluados fueron 0 g-árbol⁻¹ (NB-0: Testigo), 6 g-árbol⁻¹ (NB-6) y 12 g-árbol⁻¹ (NB-12). Inicialmente, el experimento se estableció como un diseño completamente al azar, con 25 árboles por unidad experimental; sin embargo, por diversos factores no evaluados en este estudio, algunos árboles murieron dejando el experimento desbalanceado, en un periodo de 11 años. Por lo anterior, se seleccionaron 199 árboles representativos de la plantación y con competencia por árboles vecinos, de tal forma que las mediciones pudieran realizarse en tres tiempos: 1.5, 4.5 y 11 años.

Las mediciones para evaluar el efecto de los fertilizantes se hicieron durante el crecimiento de la plantación, a las edades de 1.5, 4.5 y 11 años. Las variables dasométricas evaluadas fueron diámetro normal (DN: 1.3 m sobre el nivel del suelo), altura total y volumen de cada árbol. El volumen del fuste fue estimado por la fórmula de Smalian.

Para el muestreo de biomasa aérea por componente vegetal, se eligieron tres árboles (11 años de edad) de cada nivel de B. La selección se hizo considerando el árbol con el diámetro medio de cada nivel. El DN, altura total, altura de fuste limpio, longitud de copa y el diámetro del tocón (0.30 m sobre el nivel del suelo) se midieron en cada árbol. Estos árboles se derribaron y se separaron en tres partes: fuste, ramas, y ramillas + hojas. La biomasa del fuste se estimó en tres rodajas: una a la altura del tocón, otra a la mitad de la altura de fuste limpio y la tercera a la altura de la mitad de copa. En cada rodaja se midió su grosor (aproximadamente 5 cm) y dos diámetros en sentido opuesto en ambas caras con la finalidad de obtener un diámetro promedio. Posteriormente, cada rodaja se pesó para obtener el peso verde. La biomasa de las ramas y ramillas + hojas se estimó pesando en campo el total de cada componente con una balanza digital (Labtron C Scientific ES-8000H). Se tomaron tres muestras de cada componente y se secaron en estufa durante 168 h a 70 °C, hasta obtener peso constante. Adicionalmente, se obtuvieron tres muestras de follaje de cada árbol para el análisis foliar, procurando que las hojas estuvieran completamente desarrolladas y sanas. El análisis

guillo, Tabasco, between coordinates 17° 40' 38.7" N - 93° 69' 36.2" W and 17° 40' 32.1" N - 93° 36' 26.2" W. The *E. urophylla* plants were grown from seed and established in the plantation in the year 2000, at a spacing of 3.5 x 2.6 m.

Initial fertilization consisted of 60 g of 18-46-00 at three weeks after planting and 100 g of 18-46-00 at six months afterwards; additionally, at five weeks after planting, three B levels were applied in the form of borax in a 25-cm radius around the bole. The assessed B levels were 0 g-tree⁻¹ (BL-0: Control), 6 g-tree⁻¹ (BL-6) and 12 g-tree⁻¹ (BL-12). Initially the experiment was set up as a completely randomized design with 25 trees per experimental unit; however, due to several factors not assessed in this study, some trees died leaving the experiment unbalanced over a period of 11 years. Therefore, 199 trees representative of the plantation and with competition from neighboring trees were selected; as a result, measurements could be made at three times: 1.5, 4.5 and 11 years.

Measurements to assess the effect of the fertilizers were made during the growth of the plantation, at 1.5, 4.5 and 11 years of age. Forest mensuration variables evaluated were diameter at breast height (DBH: 1.3 m above ground level), total height and wood volume of each tree. Bole volume was estimated using the Smalian formula.

For the sampling of aerial biomass by plant component, three 11-year-old trees of each B level were chosen. The selection was made considering the tree with the average diameter of each level. DBH, total height, clear bole height, crown length and stump diameter (0.30 m above ground level) were measured in each tree. These trees were felled and separated into three parts: bole, branches, and twigs + leaves. Bole biomass was estimated in three slices: one at stump height, another at half the clean bole height and the third at half the crown height. The thickness of each slice (about 5 cm) was measured, as were two diameters in opposite directions on both sides in order to obtain an average diameter. Subsequently, each slice was weighed to obtain the fresh weight. The biomass of branches and twigs + leaves was estimated by weighing in the field the total of each component with a digital scale (Labtron C Scientific ES-8000H). Three samples of each component were taken and dried in an oven for 168 hrs at 70 °C to constant weight. In addition, three foliage samples of each tree were obtained for leaf analysis, ensuring that the leaves were fully developed and healthy. The analysis of P, K, Ca, Mg and B was performed by atomic emission spectrometry, while N was determined by the micro-Kjeldahl method (Alcántar & Sandoval, 1999).

Statistical analysis

For each B level, data from the forest mensuration variables (height and diameter) and the volume at 1.5, 4.5 and 11 years of age were subjected to analysis of variance with SAS version 9.0 software (Statistical Analysis System Institute, 2002) and

de P, K, Ca, Mg y B se realizó mediante espectrometría de emisión atómica, mientras que el N se determinó mediante el método microkjeldahl (Alcántar & Sandoval, 1999).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables dasométricas (altura y diámetro), así como el volumen a las edades 1.5, 4.5 y 11 años para cada nivel de B, fueron sometidos a un análisis de varianza con el software SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System Institute, 2002) y comparación de medias con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$). También se realizó un análisis de varianza para cada tiempo de medición y un análisis con medidas repetidas en el tiempo. La información de biomasa y contenido de nutrimentos, a los 11 años de edad, se sometió a un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Las concentraciones de nutrimentos en follaje se analizaron con el método gráfico de vectores de acuerdo con la metodología de Timmer y Stone (1978), actualizada por Mead, Scott, y Chang (2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del B en el crecimiento de *E. urophylla*: diámetro, altura y volumen

La Figura 1 muestra el comportamiento del diámetro de *E. urophylla*, a la edad de 1.5, 4.5 y 11 años en los diferentes niveles de B aplicado. Sólo se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a la edad de 11 años.

comparison of means using Duncan's test ($P \leq 0.05$). Analysis of variance for each measurement time and analysis with repeated measures over time were also performed. Information on biomass and nutrient content, at 11 years of age, was subjected to analysis of variance and comparison of means using Tukey's test ($P \leq 0.05$). Leaf nutrient concentrations were analyzed using the graphical vector method described by Timmer and Stone (1978), updated by Mead, Scott, and Chang (2010).

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of B on growth of *E. urophylla*: diameter, height and volume

Figure 1 shows the behavior of the diameter of *E. urophylla*, at 1.5, 4.5 and 11 years of age, at the different B levels applied. Significant differences ($P \leq 0.05$) were found at 11 years old.

These results agree with those found by Zhou et al. (2012), who applied different B doses to approximately five-month-old teak (*Tectona grandis* L. f.) saplings, without finding significant effects on their growth.

The application of different B doses had a significant effect ($P \leq 0.05$) on height at 4.5 and 11 years of age; the greatest height was recorded when the highest B level (B-12) was applied, which resulted in a 11.2 % increase compared to the control (Figure 2).

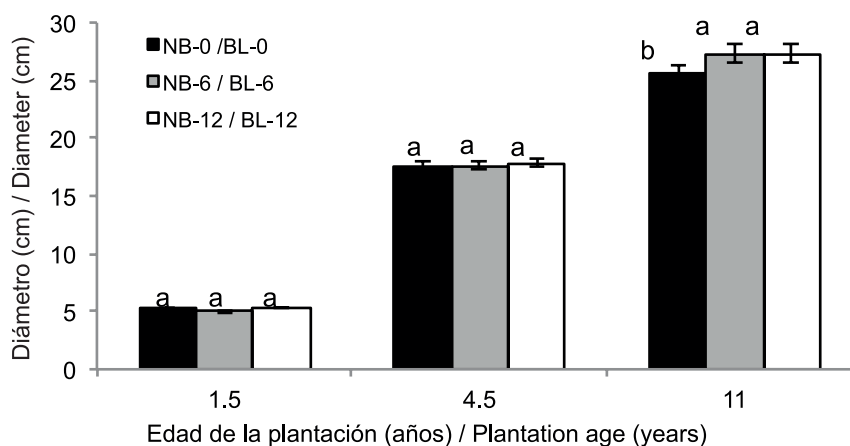


FIGURA 1. Crecimiento en diámetro de *Eucalyptus urophylla* a diferentes edades de plantación con distintas dosis de boro (NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹). Letras diferentes entre los niveles de fertilización indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan a una ($P \leq 0.05$).

FIGURE 1. Diameter growth of *Eucalyptus urophylla* at different plantation ages with different boron doses (BL-0 = 0 g·tree⁻¹, BL-6 = 6 g·tree⁻¹, BL-12 = 12 g·tree⁻¹). Different letters among fertilization levels indicate statistically significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.05$).

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Zhou et al. (2012) quienes aplicaron diferentes dosis de B a brinzales de teca (*Tectona grandis* L. f.) de aproximadamente cinco meses de edad, sin encontrar efectos significativos en su crecimiento.

La aplicación de diferentes dosis de B fue significativa ($P \leq 0.05$) en la altura a la edad de 4.5 y 11 años; la mayor altura se registró cuando se aplicó el nivel mayor de B (B-12), con el cual se tuvo 11.2 % de incremento con respecto al testigo (Figura 2).

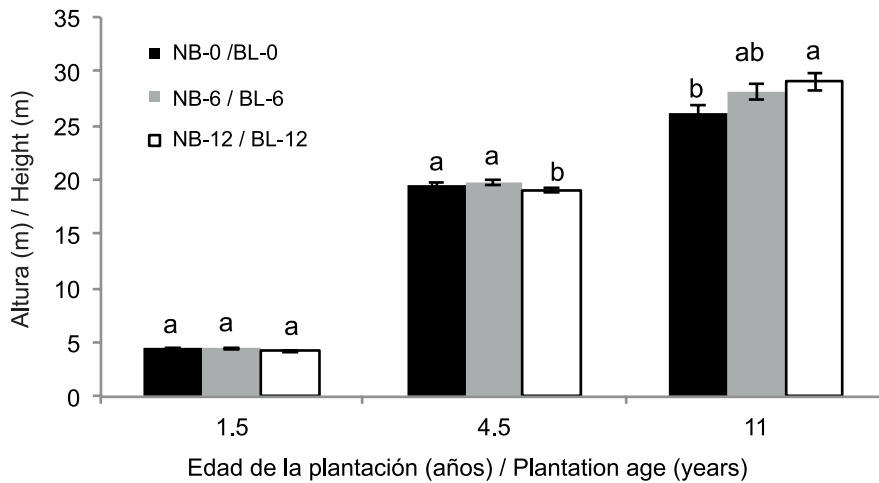


FIGURA 2. Crecimiento en altura de *Eucalyptus urophylla* en diferentes momentos del turno con distintas dosis de boro (NB-0 = 0 g-árbol⁻¹, NB-6 = 6 g-árbol⁻¹, NB-12 = 12 g-árbol⁻¹). Letras diferentes entre los niveles de fertilización indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

FIGURE 2. Height growth of *Eucalyptus urophylla* at different times during the rotation with different boron doses (BL-0 = 0 g-tree⁻¹, BL-6 = 6 g-tree⁻¹, BL-12 = 12 g-tree⁻¹). Different letters among fertilization levels indicate statistically significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.05$).

El B es esencial para el crecimiento de los árboles y cuando la adición de este elemento es inadecuada, se manifiestan severos desórdenes en el crecimiento (Lehto et al., 2010). Da Silva et al. (2012) encontraron que los árboles de *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* que no recibieron aporte de B, tuvieron menor crecimiento en diámetro y altura que aquellos que sí recibieron el nutrimento.

Con relación al volumen, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los niveles de aplicación de B a la edad de 11 años. En la Figura 3 se puede apreciar que con el nivel B-12 se obtuvo mayor volumen (aproximadamente 21 % más que el testigo).

Con la finalidad de conocer la interacción entre la edad de los árboles y el nivel de B aplicado, se hizo un análisis de los datos por medidas repetidas en el tiempo. Las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.05$) respecto a los niveles de B sólo cuando se analizó el crecimiento del último año en for-

B is essential for tree growth and when the addition of this element is inadequate, severe disorders occur during growth (Lehto et al., 2010). Da Silva et al. (2012) found that trees of *Toona ciliata* M. Roem var. *australis* that did not receive B input had lower diameter and height growth than those that received the nutrient.

With respect to volume, significant differences ($P \leq 0.05$) were found among the B application levels at 11 years old. Figure 3 shows that the B-12 level increased volume (approximately 21 % more than the control).

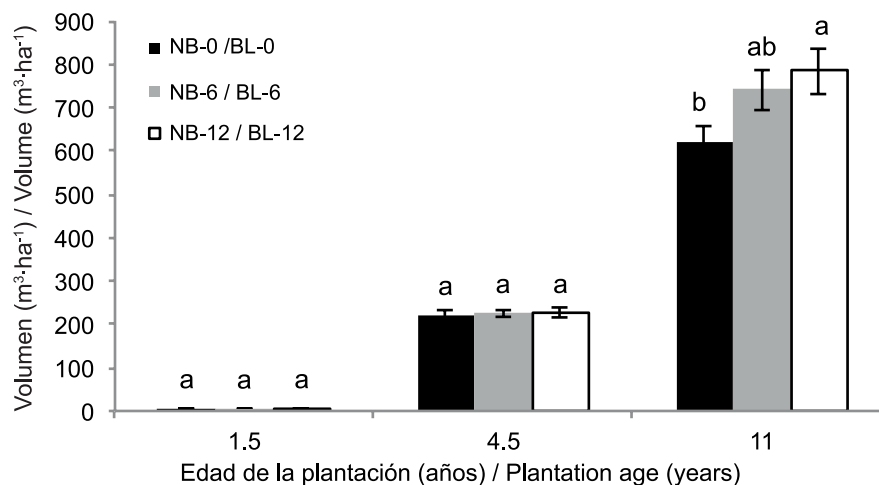


FIGURA 3. Volumen de *Eucalyptus urophylla* a lo largo del turno con diferentes dosis de boro (NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹). Letras diferentes entre los niveles de fertilización indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

FIGURE 3. Volume of *Eucalyptus urophylla* throughout the rotation with different boron doses (BL-0 = 0 g·tree⁻¹, BL-6 = 6 g·tree⁻¹, BL-12 = 12 g·tree⁻¹). Different letters among fertilization levels indicate statistically significant differences according to Duncan's test ($P \leq 0.05$).

ma separada. Al emplear el análisis de medidas repetidas no existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los diferentes niveles de B aplicados a la plantación, aunque sí existe interacción entre la edad y el nivel de B aplicado. Esto indica que, a través del tiempo, cada nivel de B tiende a mostrar su propia respuesta; sin embargo, se aprecia aumento del diámetro a mayor dosis de B aplicado. En las plantaciones de eucalipto, el complemento de fertilización de B ha sido favorable, especialmente en Oxisoles (Smith, 2007). Los resultados de este estudio no muestran alta respuesta al B, lo que indica que el cultivo de eucalipto, en los suelos del sureste de México, no tiene problemas serios en cuanto a la adquisición del elemento. En el lugar de estudio se tienen Alfisoles, que son suelos con mejores condiciones de fertilidad que los Oxisoles (Pérez et al., 2012). Lo anterior también puede explicar la respuesta baja a la aplicación de B; sin embargo, la asimilación de este elemento se puede ver limitada por el encajado del suelo y también por la aplicación de N en dosis altas que causan un problema de dilución en la biomasa (Fisher & Blinkey, 2000). De esta forma, la respuesta baja a la fertilización en este estudio será dependiente de otras prácticas de mejoramiento o fertilización del suelo.

En las plantaciones forestales se recomienda la aplicación de fertilizante en diferentes etapas dependiendo del elemento y las necesidades de los árboles (Zeng et al., 2013). Es recomendable que las empresas plantadoras del sureste de México reconsideren en qué casos se justifica la aplicación de B. También se debe considerar la alta variabilidad de los terrenos forestales que provoca que en los experimentos de campo, las significancias no sean tan altas como ocurre en experimentos agrícolas donde hay menor varianza entre re-

the application of high N doses that cause a dilution problem in biomass (Fisher & Blinkey, 2000). Thus, the low response to fertilization in this study is linked to other soil improvement or fertilization practices.

In forest plantations, fertilizer application is recommended at different stages depending on the element and the needs of the trees (Zeng et al., 2013). It is recommended that plantation companies in southeastern Mexico reconsider in which cases B application is justified. One should also take into account that the high variability in forest land causes the significance levels in field experiments to be lower than in agricultural experiments where there is less variance among replicates. As a result, Stape, Blinkey, Jacob, and Takahashi (2006) suggest using a greater number of replicates between locations in forest studies than in experiments. Due to this, repeated measures analysis showed significances at $P = 0.13$.

Aerial biomass accumulation

The analysis of variance shows no statistical significance ($P \leq 0.05$) in the amount of biomass of each tree compartment (Table 1). However, the amount of biomass in the bole increases with increasing fertilization, but this is not the case in the branch and twig + leaf compartments, where the highest biomass occurred with the low B dose (Table 2).

When the higher B dose was applied, biomass accumulation was greater in the bole and lower in the branches, twigs and leaves. This is of great importance for the species, as the bole is used for cellulose (Figure 4).

peticiones. Debido a ello, Stape, Binkley, Jacob, y Takahashi (2006) sugieren que en estudios forestales se incrementen las repeticiones entre localidades más que las de los experimentos. Debido a esto último, el análisis de medidas repetidas mostró significancias con $P = 0.13$.

Acumulación de biomasa aérea

El análisis de varianza no muestra significancia estadística ($P \leq 0.05$) en la cantidad de biomasa de cada compartimento del árbol (Cuadro 1). Sin embargo, existe una tendencia de incremento de biomasa en el fuste al aumentar la dosis de fertilización, no así en los compartimentos de ramas y ramillas + hojas, donde la mayor biomasa se presentó en la dosis baja de B (Cuadro 2).

The results show that *E. urophylla* has a low response to fertilization although in other studies with the same genus a better response to fertilization with different elements is reported (Da Silva, Poggiani, F., & Laclau, 2011; Hunter, 2001); however, the response depends on each element. For example, the application of K-based fertilizers has more influence on the distribution of biomass in eucalyptus components than the application of micronutrients. This is because K helps prolong the useful life of foliage by channeling more C to the bole and to the aerial biomass in general (Epron et al., 2012).

Leaf nutrient content

Increasing B levels favored the accumulation of bole biomass (Table 1). However, with respect to the leaf nutrients,

CUADRO 1. Biomasa de los compartimentos del árbol *Eucalyptus urophylla* fertilizado con boro a los 11 años de edad.

TABLE 1. Biomass of tree compartments of *Eucalyptus urophylla* fertilized with boron at 11 years of age.

Tratamiento / Treatment	Biomasa (kg) / Biomass (kg)		
	Fuste / Bole	Ramas / Branches	Ramillas + hojas / Twigs + leaves
NB-0 / BL-0	301.66 ± 34.19	23.52 ± 12.34	13.62 ± 4.81
NB-6 / BL-6	321.45 ± 90.19	43.27 ± 20.30	14.86 ± 4.98
NB-12 / BL-12	342.46 ± 116.56	11.85 ± 4.01	7.50 ± 2.45

NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹

± Error estándar de la media.

BL-0 = 0 g·tree⁻¹, BL-6 = 6 g·tree⁻¹, BL-12 = 12 g·tree⁻¹

± Standard error of the mean.

CUADRO 2. Contenido de nutrimentos en el follaje de *Eucalyptus urophylla* fertilizado con boro a los 11 años de edad.

TABLE 2. Leaf nutrient content of *Eucalyptus urophylla* fertilized with boron at 11 years of age.

Nivel de B / B level	Contenido (kg·ha ⁻¹) / Content (kg·ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	B
NB-0 / BL-0	23.540a	43.146ab	43.589ab	214.165a	30.294a	1.044a
NB-6 / BL-6	24.560a	49.374a	57.988a	242.084a	32.225a	1.023a
NB-12 / BL-12	13.304b	22.681b	19.898b	120.296a	17.556a	0.535b

Letras diferentes entre valores de una columna indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹.

Different letters between values in a column indicate statistically significant differences according to Tukey's test ($P \leq 0.05$). NB-0 = 0 g·tree⁻¹, NB-6 = 6 g·tree⁻¹, NB-12 = 12 g·tree⁻¹.

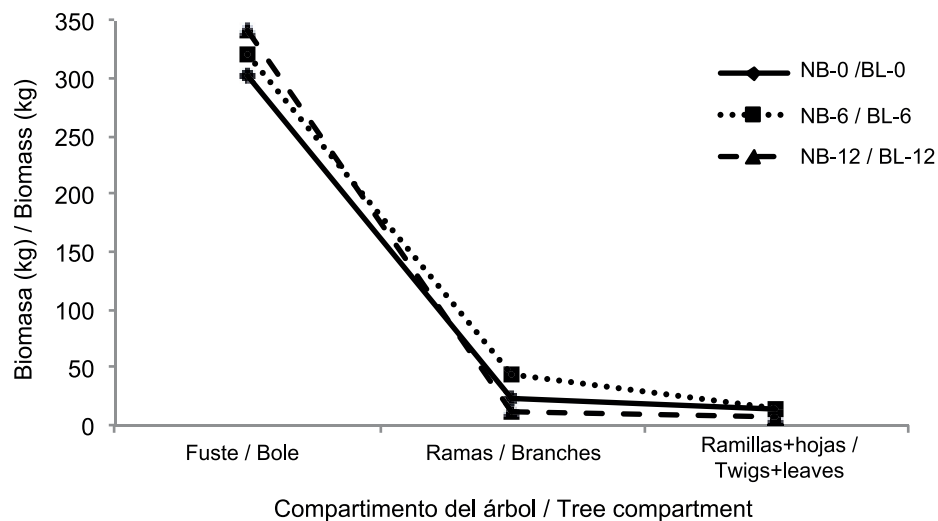


FIGURA 4. Acumulación de biomasa en los diferentes compartimentos del árbol de *Eucalyptus urophylla* con distintos niveles de aplicación de boro (NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹) a los 11 años de edad.

FIGURE 4. Biomass accumulation in different tree compartments of *Eucalyptus urophylla* with different boron application levels (BL-0 = 0 g·tree⁻¹, BL-6 = 6 g·tree⁻¹, BL-12 = 12 g·tree⁻¹) at 11 years of age.

Cuando se aplicó mayor dosis de B, la acumulación de biomasa fue mayor en el fuste y menor en ramas, ramillas y hojas. Esto es de gran importancia para la especie, ya que el fuste se aprovecha para celulosa (Figura 4).

Los resultados muestran que *E. urophylla* tiene baja respuesta a la fertilización a pesar de que en otros estudios con el mismo género se reporta mejor respuesta con diferentes elementos (Da Silva, Poggiani, F., & Laclau, 2011; Hunter, 2001); por lo que la respuesta dependerá de cada elemento. Por ejemplo, la aplicación de fertilizantes a base de K tiene más influencia en la distribución de biomasa en los componentes de eucalipto que la aplicación de micronutrientes. Lo anterior debido a que el K ayuda a prolongar la vida útil del follaje canalizando más C al fuste y a la biomasa aérea en general (Epron et al., 2012).

Contenido de nutrientes en las hojas

Los niveles crecientes de B favorecieron la acumulación de biomasa del fuste (Cuadro 1). Sin embargo, con respecto a los nutrientes del follaje, el nivel bajo de B (NB-6) se tradujo en mayor contenido de todos los nutrientes (Cuadro 2). El testigo y el tratamiento con nivel bajo de B (NB-6) presentaron contenidos similares de dicho nutriente, mientras que con la dosis alta (NB-12), la cantidad de B foliar neta por árbol se redujo (Cuadro 2). Los contenidos de N, P, K y B fueron diferentes significativamente ($P \leq 0.05$) entre los niveles de B aplicados a los árboles.

Los resultados mostraron baja respuesta al B después de 11 años. Existen diversas razones que pudieran explicarlo. Los resultados de laboratorio en el componente de hojas + ra-

the low B level (NB-6) resulted in higher contents of all nutrients (Table 2). The control and the treatment with the low B level (NB-6) had similar content of said nutrient, while with the high dose (NB-12), the amount of net leaf B per tree decreased (Table 2). The N, P, K and B contents were significantly different ($P \leq 0.05$) between the B levels applied to the trees.

The results showed low response to B after 11 years. There are several reasons that could explain it. Laboratory results for the twig + leaf component indicate that the B concentration was 62 (± 1.5), 68 (± 2.0) and 67 (± 2.8) ppm when 0, 6 and 12 g of B, respectively, were applied. These concentrations are higher than those reported for the genus (Freitas et al., 2009) and three to five times higher than those found in other forest species fertilized with B such as *T. grandis* (Zhou et al., 2012) and *Pinus radiata* D. Don (Hawkins, Xue, Bown, & Clinton, 2010). It has been observed that fertilizing *Betula pendula* Roth seedlings with B can improve the concentration of this nutrient in the foliage by up to 50 % (Ruhola, Leppanen, Julkunen-Tiitto, Rantala, & Letho, 2011).

Vector analysis

Figure 5 shows the response of the nutrients to the application of different B doses in *E. urophylla*. From the horizontal distribution of the vectors, it follows that the moderate B level (B-6) is associated with higher relative N content, although the concentration of this nutrient is similar at all levels. The moderate B level relates to leaves with greater biomass while the high level is associated with lower leaf biomass. This result indicates that moderate B application is the most suitable for stimulating leaf mass. The high B

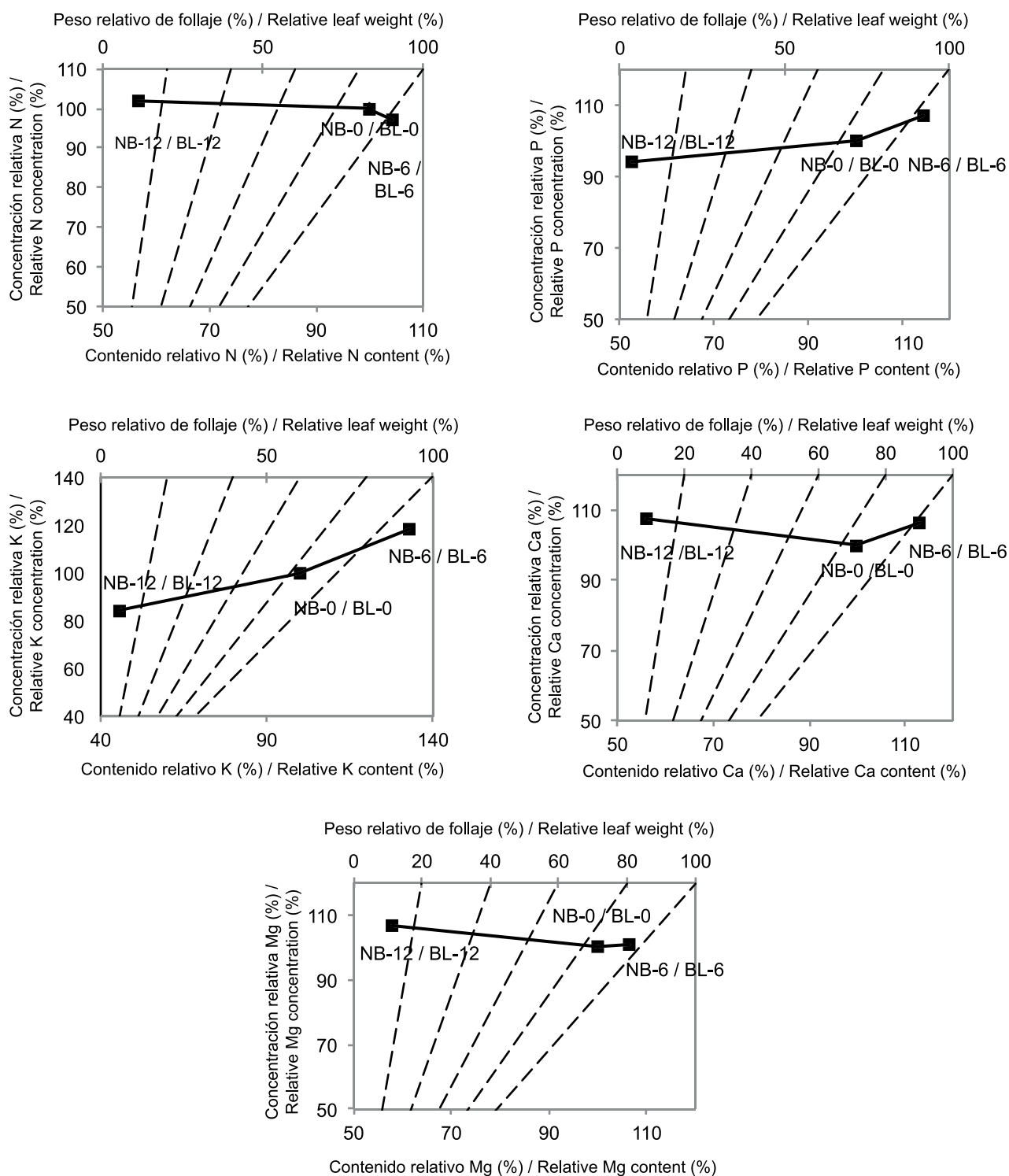


FIGURA 5. Respuesta de los nutrientes foliares a la aplicación de diferentes dosis de boro (NB-0 = 0 g·árbol⁻¹, NB-6 = 6 g·árbol⁻¹, NB-12 = 12 g·árbol⁻¹) en *Eucalyptus urophylla* a los 11 años de edad.

FIGURE 5. Response of leaf nutrients to the application of different boron doses (BL-0 = 0 g·tree⁻¹, BL-6 = 6 g·tree⁻¹, BL-12 = 12 g·tree⁻¹) in *Eucalyptus urophylla* at 11 years of age.

millas indican que la concentración de B fue de 62 (± 1.5), 68 (± 2.0) y 67 (± 2.8) ppm cuando se aplicaron 0, 6 y 12 g de B, respectivamente. Estas concentraciones son mayores que las reportadas para el género (Freitas et al., 2009) y entre tres y cinco veces más altas que las encontradas en otras especies forestales fertilizadas con B como *T. grandis* (Zhou et al., 2012) y *Pinus radiata* D. Don (Hawkins, Xue, Bown, & Clinton, 2010). Se ha observado que la fertilización con B a brinzales de *Betula pendula* Roth puede favorecer la concentración de dicho nutrimento en el follaje hasta en 50 % (Ruu-hola, Leppanen, Julkunen-Tiitto, Rantala, & Letho, 2011).

Análisis de vectores

En la Figura 5 se muestra la respuesta de los nutrimentos a la aplicación de diferentes dosis de B en *E. urophylla*. A partir de la distribución horizontal de los vectores se deduce que el nivel moderado de B (B-6) se asocia con mayor contenido relativo de N, aunque la concentración de este nutriente es similar en todos los niveles. El nivel moderado de B se relaciona con hojas de mayor biomasa mientras que en el nivel alto la biomasa foliar se reduce. Este resultado indica que la aplicación moderada de B es la más conveniente para estimular la masa foliar. El nivel alto de B indica concentración de otros elementos en hojas de menor biomasa o tendencia a un efecto antagónico de acuerdo con el análisis gráfico. El comportamiento de P, K, Ca y Mg con relación a los niveles de B fue similar (Figura 5).

De acuerdo con el análisis de vectores, el N, P, K, Ca y Mg se concentran en hojas de menor biomasa cuando se aplica mayor cantidad de B. La explicación de este resultado no es fácil porque se esperaba que los niveles de B favorecieran el crecimiento y la concentración de nutrimentos. Es probable que con la aplicación de fertilizante se haya creado un desbalance en el equilibrio químico de la solución del suelo, pero esta conformación requeriría de mayor investigación. Las concentraciones foliares de B pueden variar fácilmente con la disponibilidad de agua en el suelo, lo que puede provocar incertidumbre en la interpretación de análisis de B foliar (Lehto et al., 2010).

A pesar de que la deficiencia de B limita la productividad de las plantaciones de eucalipto en muchas partes del mundo, existe mucha variación entre las concentraciones foliares de B utilizadas en el diagnóstico de su deficiencia (Sakya, Dell, & Huang, 2002).

CONCLUSIONES

La fertilización con B tuvo efecto significativo sólo en la altura y el volumen por hectárea de *E. urophylla* cuando la aplicación se hizo en la etapa final del ciclo productivo (11 años). El análisis de vectores mostró incremento en el contenido de N, P, K y Ca en el follaje, lo que indica que estos elementos pueden ser aprovechados para favorecer el crecimiento de los árboles. No se mostraron cambios en la pro-

level indicates a concentration of other elements in lower-biomass leaves or a trend to an antagonistic effect according to the graphical analysis. The behavior of P, K, Ca and Mg in relation to the B levels was similar (Figure 5).

According to the vector analysis, N, P, K, Ca and Mg are concentrated in lower-biomass leaves when a greater amount of B is applied. This result is not easy to explain because the B levels were expected to favor growth and nutrient concentration. It is likely that fertilizer application has created an imbalance in the chemical equilibrium of the soil solution, but this theory requires further investigation. Leaf B concentrations can easily vary with the availability of water in the soil, which may cause uncertainty in the interpretation of leaf B analysis (Lehto et al., 2010).

Although B deficiency limits the productivity of eucalyptus plantations in many parts of the world, there is a lot of variation between the leaf B concentrations used in the diagnosis of this deficiency (Sakya, Dell, & Huang, 2002).

CONCLUSIONS

Boron fertilization had a significant effect only on the height and wood volume per hectare of *E. urophylla* when the application was made in the final stage of the production cycle (11 years). Vector analysis showed an increase in N, P, K and Ca contents in the foliage, indicating that these elements can be used to promote tree growth. No changes were observed in the biomass production of the bole, branches and twigs + leaves of *E. urophylla* when different B doses were applied. However, when the higher B dose (12 g-tree⁻¹) was applied, the allocation of biomass to the bole was greater than to the branches, twigs, and leaves, which reflects a more desirable distribution of components from the commercial standpoint.

ducción de biomasa de fuste, ramas y ramillas + hojas de *E. urophylla* cuando se aplicaron las diferentes dosis de B. Sin embargo, cuando se aplicó mayor dosis de B (12 g-árbol⁻¹), la asignación de biomasa al fuste fue mayor que a las ramas, ramillas y hojas, lo que refleja una distribución de componentes más deseable desde el punto de vista comercial.

REFERENCIAS

- Alcántar, G. G., & Sandoval, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. México, D. F.: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Bell, R. W., & Dell, B. (2008). *Micronutrients for sustainable food, feed, fibre and bioenergy production*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association.
- Binkley, D. (1993). *Nutrición forestal*. México, D. F.: UTEHA-Limusa.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). *Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales: a 15 años de su creación*. México: SEMARNAT-CONAFOR.
- Da Silva, P. H. M., Poggiani, F., & Laclau, J. P. (2011). Applying sewage sludge to *Eucalyptus grandis* plantations: Effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. *Applied and Environmental Soil Science*, 1–11. doi:10.1155/2011/710614
- Da Silva, M. B., Furtini, N. A. E., Peres, B. B., De Pádua, J. E., Lopes, S. L., Lacerda, J. J., & Caio, D. S. F. (2012). Characterization of micronutrient deficiency in Australian red cedar (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*). *International Journal of Forestry Research*, 1–10. doi:10.1155/2012/587094
- Epron, D., Laclau, J.-P., Almeida, J. C. R., Gonçalves, J. L. M., Ponton, S., Sette, C. R., . . . Nouvellon, Y. (2012). Do changes in carbon allocation account for the growth response to potassium and sodium applications in tropical *Eucalyptus* plantations? *Tree Physiology*, 00, 1–13. doi: 10.1093/treephys/tp107
- Fisher, R. F., & Binkley, D. (2000). *Ecology and management of forest soils* (3rd ed.). New York, USA: Wiley.
- Freitas B. S. J., Ribeiro D. S. I., Nairam, F. B., Ferreira, N. R., Francisco, S. E., Jot, S. T., . . . Oliveira, G. F. (2009). Boron mobility in *Eucalyptus* clones. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 33, 1733–1744. doi:10.1590/S0100-06832009000600022
- Hawkins, B. J., Xue, J., Bown, H. E., & Clinton, P. W. (2010). Relating nutritional and physiological characteristics to growth of *Pinus radiata* clones planted on a range of sites in New Zealand. *Tree Physiology*, 30(9), 1174–1191. doi:10.1093/treephys/tpq069
- Hunter, I. (2001). Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. *Forest Ecology and Management*, 144, 189–200. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00373-X
- Lehto, T., Ruuhola, T., & Dell, B. (2010). Boron in forest trees and forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 260, 2053–2069. doi: 10.1016/j.foreco.2010.09.028
- Mead, D. J., Scott, J. T., & Chang S. X., (2010). Using vector analysis to understand temporal changes in understorey-tree competition in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 259, 1200–1211. doi: 10.1016/j.foreco.2010.01.010
- Pérez, S. R., Gómez, A., Fierros A., & Horwath, W. R. (2012). Site productivity of clone and seed raised plantations of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* in southeast Mexico. *Open Journal of Forestry*, 4, 225–231. doi:10.4236/ojfor.2012.24028
- Pritchett, W. L. (1990). *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. México, D. F.: Limusa.
- Rengel, Z. (2007). Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. In P. Marschner, & Z. Rengel (Eds.), *Soil Biology* (pp. 93–121). Germany: Springer-Verlag.
- Rivera, R. C. A., Fierros, A. M., Vázquez, V., Gómez, A., & Velázquez, A. (2008). Principios, criterios e indicadores de sustentabilidad para plantaciones forestales comerciales de rápido crecimiento. *Fitotecnia Mexicana*, 31, 391–397. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031412>
- Ruuhola, T., Leppanen, T., Julkunen-Tiitto, R., Rantala, M. J., & Letho, T. (2011). Boron fertilization enhances the induced defense of silver birch. *Journal of Chemical Ecology*, 37(5), 460–471 doi: 10.1007/s10886-011-9948-x
- Sakya, A. T., Dell, B., & Huang, L. (2002). Boron requirements for *Eucalyptus globulus* seedlings. *Plant and Soil*, 246, 87–95. doi:10.1023/A:1021589029492
- Shorrocks, V. M. (1997). The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193,121–148. doi: 10.1023/A:1004216126069
- Smith, T. E. (2007). Poor tree form in *Eucalyptus nitens* linked to boron deficiency. In Xu, F., H. E. Goldbach, P. H. Brown, R. W. Bell, T. Fujiwara, C. D. Hunt, . . . L. Shi (Eds.), *Advances in plant and animal boron nutrition* (pp. 163–169). Netherlands: Springer.
- Stape, J. L., Binkley, D., Jacob, W. S., & Takahashi, E. N. (2006). A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential in *Eucalyptus* plantations at landscape scales in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 223, 1358–362. doi: 10.1016/j.foreco.2005.11.015
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2002). Versión 9.0 del sistema SAS para windows. Cary, NC, USA: Autor.
- Timmer, V. R., & Stone, E. L. (1978). Comparative foliage analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 125–130. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200010027x
- Zeng, S., Jacobs, D. F., Sloan, J. L., Xue, L., Li, Y., & Chu, S. (2013). Split fertilizer application affects growth, biomass allocation, and fertilizer uptake efficiency of hybrid *Eucalyptus*. *New Forests*, 44, 703–718. doi: 10.1007/s11056-013-9371-y
- Zhou, Z., Liang, K., Xu, D., Zhang, Y., Huang, G., & Ma, H. (2012). Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. *New Forests*, 43, 231–243. doi 10.1007/s11056-011-9276-6