

# MORFOLOGÍA, BIOMASA Y CONTENIDO NUTRIMENTAL EN *Abies religiosa* CON REGÍMENES DIFERENTES DE FERTILIZACIÓN EN VIVERO

## MORPHOLOGY, BIOMASS AND NUTRIENT CONTENT IN *Abies religiosa* WITH DIFFERENT FERTILIZATION REGIMES IN THE NURSERY

José L. Navarro-Sandoval<sup>1</sup>, J. Jesús Vargas-Hernández<sup>1\*</sup>, Armando Gómez-Guerrero<sup>1</sup>,  
Lucero de Mar Ruíz-Posadas<sup>2</sup>, Prometeo Sánchez-García<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Ciencias Forestales, <sup>2</sup>Postgrado en Botánica, <sup>3</sup>Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados. 56230. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, México. (vargashj@colpos.mx).

### RESUMEN

La fertilización en vivero es una práctica de cultivo usada para modificar las características morfológicas que afectan los índices de calidad de la planta. El objetivo de este estudio en vivero fue evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento, la morfología, la asignación de biomasa y el estado nutrimental en plantas de *Abies religiosa*. Hubo cuatro niveles de fertilización ( $T_{-50}$ ,  $T_{Base}$ ,  $T_{+50}$  y  $T_{+100}$ ) a partir de la dosis usada en vivero ( $T_{Base}$ ), con un diseño completamente al azar con cuatro unidades experimentales, cada una con 900 plantas. La presencia imprevista de daño por heladas en el brote terminal de algunas plantas permitió comparar la respuesta a la fertilización de las plantas con y sin daño. Durante siete meses después de la fertilización se midió la altura y el diámetro del tallo en una muestra aleatoria de cinco plantas con y sin daño por unidad experimental. Al final del ciclo de producción se cuantificó la biomasa y el contenido nutrimental de los componentes aéreo y subterráneo de la planta. La fertilización y condición del brote tuvieron efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) en el tamaño, la tasa relativa de crecimiento, la asignación de biomasa y la concentración de nutrientes, pero sin interacción significativa entre ellas. Las plantas con  $T_{-50}$  tuvieron altura 15 % menor pero asignaron 36.2 % más biomasa a la raíz que con  $T_{Base}$ . La concentración de nutrientes en raíz (N, P, y K), tallo (P) y hojas (N) fue 5.5 a 41.3 % mayor con  $T_{+50}$  y  $T_{+100}$ , que con  $T_{-50}$ . El daño en el brote ocasionó plantas con altura menor (5 %), diámetro mayor (13 %) y concentración nutrimental mayor (5.5 % de K en raíz y 28.9 % de N en tallo) en oposición con las plantas no dañadas en todos los tratamientos de fertilización. La disminución de 50 % en la dosis actual de fertilización de *A.*

### ABSTRACT

Nursery fertilization is a cultural practice used to modify the morphological characteristics affecting plant quality indices. The objective of this study was to evaluate the effect of nursery fertilization in growth, morphology, biomass allocation and nutrient status in *Abies religiosa* plants. There were four levels of fertilization ( $T_{-50}$ ,  $T_{Base}$ ,  $T_{+50}$  and  $T_{+100}$ ) starting from the dose used in nursery ( $T_{Base}$ ), with a completely randomized design with four experimental units, each with 900 plants. The unexpected presence of frost damage in the terminal bud of some plants allowed comparing the response to fertilization of plants with and without damage. For seven months after fertilization height and basal diameter was measured in a random sample of five seedlings with and without damage per experimental unit. At the end of the production cycle biomass and nutrient content of aerial and underground of the plant components were quantified. Fertilization and condition of the bud had a significant effect ( $p \leq 0.05$ ) on the size, relative growth rate, biomass allocation and nutrient concentration, but without significant interaction between them. Plants with  $T_{-50}$  had 15 % lower height but allocated 36.2 % more biomass to root than with  $T_{Base}$ . The root nutrient concentrations (N, P, and K), stem (P) and leaves (N) was 5.5 to 41.3 % higher with  $T_{+50}$  and  $T_{+100}$ , than with  $T_{-50}$ . The bud damage caused plants with lower height (5 %), larger diameter (13 %) and higher nutrient concentration (5.5 % K in root and 28.9 % N in stem) as opposed to undamaged plants in all fertilization treatments. The decrease of 50 % in the current dose of fertilization of *A. religiosa* in nursery favors morphological characteristics related to plant quality indices.

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2013. Aprobado: octubre, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 707-721. 2013.

**Key words:** quality of plant, biomass allocation, forest nutrition, plant production.

*religiosa* en vivero favorece las características morfológicas relacionadas con los índices de calidad de planta.

**Palabras clave:** calidad de planta, distribución de biomasa, nutrición forestal, producción de planta.

## INTRODUCCIÓN

La reforestación es necesaria para mitigar la deforestación (Wightman y Santiago, 2003), especialmente en especies sujetas a perturbaciones antropogénicas durante varias generaciones (Sánchez *et al.*, 2005) y que tienen poblaciones fragmentadas y dispersas, con riesgo mayor de erosión genética. Sin embargo, el éxito de los programas de reforestación en México no es el esperado, con apenas 57 % de supervivencia de las plantas en campo; las principales causas de mortandad se atribuyen a condiciones ambientales adversas, como la sequía y fertilidad baja de suelos, y calidad baja de la planta (CONAFOR, 2010).

Una calidad alta de la planta producida en vivero puede determinar su desempeño adecuado en el sitio de la plantación (Mexal *et al.*, 2008). Hay varios indicadores morfológicos para evaluar la calidad y el desempeño posterior de la planta en campo (Thompson, 1985; Puttonen, 1997), dado que estas características se mantienen después de su establecimiento (Grossnickle, 2012). La altura total, el diámetro del tallo y la biomasa aérea y subterránea tienen una función clave en el funcionamiento hidráulico de la planta, lo que influye en su desempeño cuando se expone a sequía o a otros factores de estrés (McDowell *et al.*, 2008). Además, los indicadores morfológicos permiten integrar varios atributos de la planta requeridos para su crecimiento y supervivencia en campo (Ritchie *et al.*, 2010).

Las prácticas de cultivo en vivero pueden modificar las características morfológicas de las plantas para asegurar una supervivencia mayor y éxito de la reforestación (Duryea, 1984). La fertilización en vivero modifica el crecimiento de las plantas y altera la asignación de recursos, por lo que es uno de los medios más usados para aumentar su calidad (Rook, 1991). Por ejemplo, la relación altura/diámetro cambió al aumentar la dosis de N en plantas de *Pinus resinosa* (Islam *et al.*, 2009) y de *Abies fraseri* (Wilson *et al.*, 2013). Pero los efectos de la fertilización varían y en algunos casos son adversos,

## INTRODUCTION

Reforestation is necessary to mitigate deforestation (Wightman and Santiago, 2003), especially in species subject to anthropogenic disturbances for several generations (Sánchez *et al.*, 2005) having fragmented and dispersed populations with increased risk of genetic erosion. However, the success of reforestation programs in Mexico is not as expected, with only 57 % survival of plants in the field; the main causes of death are attributed to adverse environmental conditions such as drought and low soil fertility, and low plant quality (CONAFOR, 2010).

A high quality of the plant produced in nursery can determine adequate performance in the planting site (Mexal *et al.*, 2008). There are several morphological indicators to assess the quality and subsequent performance of the plant in the field (Thompson, 1985; Puttonen, 1997), as these characteristics are maintained after its establishment (Grossnickle, 2012). Total height, basal diameter and shoot and root biomass play a key role in the hydraulic system of the plant, which affects their performance when exposed to drought or other stress factors (McDowell *et al.*, 2008). In addition, morphological indicators allow integrate multiple attributes of the plant required for its growth and survival in the field (Ritchie *et al.*, 2010).

The nursery cultivation practices can change morphological characteristics of plants to ensure greater survival and success of the reforestation (Duryea, 1984). Nursery fertilization modifies the growth of plants and alters the allocation of resources, making it one of the most used means to improve their quality (Rook, 1991). For example, the height/diameter ratio changed when the N dose was increased in *Pinus resinosa* plants (Islam *et al.*, 2009) and *Abies fraseri* (Wilson *et al.*, 2013). However, fertilization effects vary and in some cases are adverse, depending on the production system of the plant, the container size, the growth rate of the species, the dose used, or the time and manner of application (Timmer, 1996; Millner and Kemp, 2012).

Forests of *Abies religiosa* of central Mexico provide economic, ecological, cultural, aesthetic and recreational benefits to more than 20 million population (Alvarado and Hernandez, 2002) and outstanding functions of protection against

en función del sistema de producción de la planta, el tamaño del contenedor, la velocidad de crecimiento de la especie, la dosis utilizada, o el tiempo y forma de aplicación (Timmer, 1996; Millner y Kemp, 2012).

Los bosques de *Abies religiosa* del centro de México proveen beneficios económicos, ecológicos, culturales, estéticos y recreativos a más de 20 millones de habitantes (Alvarado y Hernández, 2002); y funciones de protección contra la erosión del suelo, de captación de agua y de regulación de la escorrentía destacan (Hernández, 1985). Sin embargo, disturbios naturales y antropogénicos causan muerte de árboles y generan problemas de repoblación natural (Alvarado *et al.*, 1993; Blanco-García *et al.*, 2011). En la región hay una fragmentación y reducción drástica de las poblaciones naturales de la especie, que están restringidas a pequeños manchones en sitios altos de montaña, en barrancas y laderas con altas pendientes, sombreadas y húmedas (Velázquez, 1994; Valenzuela *et al.*, 2004).

Para recuperar las poblaciones de *A. religiosa* se deben usar plantas con características morfológicas y fisiológicas que les permita tolerar las condiciones adversas del sitio de plantación y establecerse de manera efectiva. No hay suficiente información sobre el efecto de la fertilización en plantas de esta especie y se usan dosis similares a las de otras coníferas, aunque su crecimiento en vivero es muy lento (Moreno *et al.*, 2002). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dosis de fertilización, mayores o menores que la dosis usada en vivero, en la tasa de crecimiento, la morfología, la asignación de biomasa y el estado nutrimental en plantas de *A. religiosa*. La hipótesis fue que el aumento de la dosis de fertilización permite producir plantas de tamaño mayor, más homogéneas y con índices morfológicos de calidad mayores. La presencia fortuita de daños por heladas en el brote terminal de algunas plantas permitió evaluar el efecto de este factor en la respuesta de las plantas a la fertilización.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material biológico y condiciones del estudio

El estudio se estableció en el Vivero San Luis Tlaxiátemalco de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, en la Delegación

soil erosion, water uptake and regulation of runoffs (Hernández, 1985). However, natural and anthropogenic disturbances cause death of trees and generate natural regeneration problems (Alvarado *et al.*, 1993, Blanco-García *et al.*, 2011). In the region there is a drastic reduction and fragmentation of natural populations of the species, which are restricted to small patches in areas of high mountains, ravines and hillsides with steep slopes, shaded and humid (Velázquez, 1994; Valenzuela *et al.*, 2004).

To recover populations of *A. religiosa*, it should be used plants with morphological and physiological characteristics that help them to tolerate the adverse conditions of the planting site and to effectively be established. There is not enough information on the effect of fertilization on plants of this species and similar doses to those of other conifers are used, although growth in the nursery is very slow (Moreno *et al.*, 2012). The objective of this study was to evaluate the effect of fertilization doses, higher or lower than the dose used in nurseries, on the growth rate, morphology, biomass allocation and nutrient status in *A. religiosa* plants. The hypothesis was that the increase in fertilization doses allows us to produce larger plants, more homogeneous and higher quality morphological indices. The fortuitous presence of frost damage in the terminal bud of some plants allowed to evaluate the effect of this factor in the response of plants to fertilization.

## MATERIALS AND METHODS

### Biological material and study conditions

The study was conducted at the San Luis Tlaxiátemalco Nursery of the Natural Resources Commission of the Ministry of Environment of the Federal District, in the Xochimilco Section, Mexico (19° 16' 03" W; 2230 masl). *A. religiosa* seed was collected in 2004 in the Cerro Tláloc, Milpa Alta Section, Federal District, Mexico (19° 06' 19" N, 98° 59' 1" W, 3520 masl). The seed was disinfected with sodium hypochlorite at 6.5 % and with an immersion in a solution of *Trichoderma viride* ( $2.7 \times 10^8$  conidia mL<sup>-1</sup>) before sowing. On 20 July 2010 two seeds were sown per well in containers Hiko V-93 model (BCC®) of 93 mL capacity, 8.7 cm high and 4.1 cm top diameter, on a substrate of peat moss, vermiculite and perlite a ratio 50:30:20 in volume; and at the end of the emergence of plants one was left per container. During the first four months after of germination (August 15 to December 14)

Xochimilco (19° 16' 03" N, 99° 01' 46" O; 2230 m). La semilla fue de *A. religiosa* recolectada en 2004 en el Cerro Tláloc, Delegación Milpa Alta, Distrito Federal (19° 06' 19" N, 98° 59' 1" O; 3520 m). La semilla se desinfectó con hipoclorito de sodio al 6.5 % y con inmersión en una solución de *Trichoderma viride* ( $2.7 \times 10^8$  conidios mL<sup>-1</sup>) antes de sembrar. El 20 de julio del 2010 se sembraron dos semillas por cavidad en contenedores modelo Hiko V-93 (BCC®), de 93 mL de capacidad, 8.7 cm de alto y 4.1 cm de diámetro superior, en un sustrato de turba de musgo, vermiculita y perlita en proporción 50:30:20 en volumen; al finalizar de emerger las plantas se dejó una por contenedor. Durante los primeros cuatro meses después de la germinación (15 de agosto a 14 de diciembre) las 14 400 plantas recibieron la misma dosis de fertilización base (T<sub>Base</sub>, Cuadro 1).

#### Tratamientos de fertilización

Los tratamientos de fertilización iniciaron el 15 de diciembre de 2010; el testigo o tratamiento base (T<sub>Base</sub>) fue las dosis de N, P y K aplicadas en el vivero para la producción de *A. religiosa* (Cuadro 1). Los otros tratamientos fueron: mitad de la dosis base (T<sub>-50</sub>), 50 % mayor (T<sub>+50</sub>) y doble de la dosis base (T<sub>+100</sub>). El fertilizante en cada tratamiento se aplicó con riego automatizado en hileras de 120 charolas dispuestas en 12 tarimas, asignadas aleatoriamente a cada tratamiento (900 plantas por unidad experimental) con cuatro repeticiones, en un diseño completamente al azar. La dosis asignada se aplicó con el riego dos veces por semana, con los productos comerciales Peters Professional® 9-45-15 y Peters Professional® 4-25-35 como fuentes principales de N, P y K, y de fosfato monopotásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) como fuente extra de K y P, y de nitrato de Ca (Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4 H<sub>2</sub>O) como fuente de Ca y extra de N. Todos los tratamientos recibieron además 20 ppm de Mg y Fe, y 5 ppm de Cu, Mn, Zn y bimestralmente durante todo el ciclo de producción; el Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se aplicaron en forma de fosfatos, y el B como ácido bórico.

14 400 plants were given the same dose of fertilizer base (T<sub>Base</sub>, Table 1).

#### Fertilization treatments

Fertilization treatments began on 15 December 2010; control or base treatment (T<sub>Base</sub>) was the N, P and K doses applied in the nursery for the production of *A. religiosa* (Table 1). The other treatments were half the dose base (T<sub>-50</sub>), 50 % higher (T<sub>+50</sub>) and twice the base dose (T<sub>+100</sub>). The fertilizer was applied in each treatment with automated irrigation in rows of 120 trays arranged in 12 pallets randomly assigned to each treatment (900 plants per experimental unit) with four replications in a completely randomized design. The assigned dose was applied with watering twice a week, with commercial products Peters Professional® 9-45-15 and Peters Professional® 4-25-35 as major N, P and K sources, and potassium dihydrogen phosphate (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) as K and P extra source, and Ca nitrate (Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4 H<sub>2</sub>O) as a Ca source and extra N. All treatments also received 20 ppm of Mg and Fe, and 5 ppm of Cu, Mn, Zn and bimonthly throughout the production cycle; Mg, Fe, Cu, Mn and Zn were applied in the form of phosphates, and B as boric acid.

Between 8 and 14 December 2010 the minimum temperatures were -1.3 to -7.1 °C in the nursery; there was no death of plants, but the apex (1-2 cm) in the highest plants (40 % of plant) was damaged. When starting the fertilization treatments plants were marked with visible damage in the bud (chlorosis and young foliage death) in each of them to evaluate the response to fertilization in each condition of the bud separately (i.e. plants with damage and plants without damage) and avoid possible confounding factors.

#### Sampling of plants and characteristics assessed

On 15 December, a random sample was selected of 20 plants with damage and 20 without damage of each treatment (five plants per replication); in them, total height and diameter at the

**Cuadro 1. Dosis total de N, P y K (ppm) en cada aplicación de fertilizante en el tratamiento base (T<sub>Base</sub>) durante el ciclo de producción (septiembre 2010 a agosto 2011) de *Abies religiosa* en vivero.**

**Table 1. Total doses of N, P and K (ppm) in each fertilizer application in the base treatment (T<sub>Base</sub>) during the production cycle (September 2010 to August 2011) of *Abies religiosa* in a nursery.**

| Elemento | 2010  |       |       |       | 2011  |       |       |       |       |       |       |        |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|          | Sept. | Oct.  | Nov.  | Dic.  | Enero | Feb.  | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto |
| N        | 25.0  | 25.0  | 28.1  | 25.0  | 46.9  | 37.5  | 62.5  | 75.0  | 94.4  | 94.4  | 50.0  | 50.0   |
| P        | 0.0   | 61.4  | 70.5  | 61.4  | 118.2 | 81.9  | 142.5 | 163.7 | 204.6 | 208.0 | 132.0 | 136.5  |
| K        | 0.0   | 108.1 | 113.9 | 108.1 | 167.2 | 144.1 | 182.6 | 103.8 | 129.8 | 166.5 | 309.9 | 363.2  |

Entre el 8 y 14 de diciembre del 2010 las temperaturas mínimas fueron de  $-1.3$  a  $-7.1$  °C en el vivero; no hubo muerte de plantas, pero el ápice (1-2 cm) en las plantas más altas (40 % de plantas) se dañó. Al iniciar los tratamientos de fertilización se marcaron las plantas con daño visible en el brote (clorosis y muerte de follaje joven) en cada uno de ellos para evaluar la respuesta a la fertilización en cada condición del brote por separado (*i.e.* plantas con daño y plantas sin daño) y evitar la posible confusión de factores.

### Muestreo de plantas y características evaluadas

El 15 de diciembre se seleccionó una muestra aleatoria de 20 plantas con daño y 20 sin daño de cada tratamiento (cinco plantas por repetición) y en ellas se midió la altura total y el diámetro en la base del tallo cada mes, hasta los 11 meses de edad. A los 10 meses se midió el diámetro en la base del tallo en una muestra aleatoria de 30-35 plantas sin daño por unidad experimental; en esta muestra se comparó la distribución de las categorías diamétricas entre dosis de fertilización con la prueba de Ji-cuadrada, para evaluar su efecto en la homogeneidad del lote de plantas. A los 11 meses de edad se tomó una muestra adicional de 30 plantas (15 con daño y 15 sin daño) con diámetro entre 3.6 y 4.4 mm en cada tratamiento de fertilización para el análisis destructivo, con el propósito de comparar plantas homogéneas en tamaño entre dosis de fertilización y condición del brote. En ellas se midió la altura y biomasa seca de la raíz, tallo (incluyendo ramas) y follaje; con esos datos se evaluó el índice de esbeltez, la relación parte aérea/raíz y el índice de calidad de Dickson (Thompson, 1985).

Además, de cada componente (raíz, tallo y hojas) de las plantas usadas en el análisis destructivo se tomó una muestra de tejido para cuantificar N, P y K; se utilizaron cinco muestras compuestas (cada una con tejido de tres plantas) por componente vegetal en cada dosis de fertilización y condición de brote. Las muestras se molieron en un molino Thomas Wiley® Mini-Mill; el contenido de N se determinó por el método semimicro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965), el P por emisión atómica, y el K por absorción atómica (Allan, 1971).

### Análisis estadístico de los datos

Los datos mensuales de altura y diámetro del tallo se analizaron con el modelo de medidas repetidas (Moser *et al.*, 1990) en un ANDEVA de dos vías, para evaluar el efecto de la fertilización en el crecimiento de las plantas con y sin daño en el brote terminal a lo largo del ciclo de producción. En los casos con diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre dosis de fertilización o condición del brote (con y sin daño) se realizó la prueba de Tukey (SAS,

base of the stem was measured every month up to 11 months of age. At 10 months diameter at the base of the stem was measured in a random sample of 30-35 plants without damage per experimental unit; in this sample the distribution of diameter categories between doses of fertilization was compared with the Chi-square test, to evaluate its effect on homogeneity of the batch of plants. At 11 months of age an additional sample of 30 plants (15 with damage and 15 without damage) was selected with basal diameter between 3.6 and 4.4 mm in each fertilization treatment for destructive analysis, in order to compare homogeneous plants in size between fertilization doses and condition of the bud. In them, height and dry biomass of root, stem (including branches) and foliage were measured; with these data the sturdiness quotient, the shoot/root ratio and Dickson quality index were evaluated (Thompson, 1985).

Furthermore, of each component (root, stem and leaves) of the plants used for destructive analysis a sample of tissue was taken to quantify N, P and K content; and five compound samples (each with tissue of three plants) were used for each plant component in each dose of fertilization and bud condition. The samples were ground in a mill Thomas Wiley® Mini-Mill, the N content was determined by the modified method semimicro-Kjeldahl to include nitrates (Bremner, 1965), the P by atomic emission and K by atomic absorption (Allan, 1971).

### Statistical analysis of the data

Monthly data on stem height and diameter were analyzed with a repeated measure model (Moser *et al.*, 1990) in a two-way ANOVA to assess the effect of fertilization on plant growth with and without damage in the terminal bud along the production cycle. In cases with significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between fertilization dose or bud condition (with and without damage) the Tukey test was performed (SAS, 2002). An ANOVA was also performed of the longitudinal relative growth rate (RGR) and stem diameter (Kramer and Kozlowski, 1979). With destructive analysis data a two-way ANOVA was performed to evaluate differences in the morphological characteristics (diameter and height), biomass allocation (root dry weight, stem, foliage and shoot/root ratio), and nutritional status (concentration and total content).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Plant growth

Fertilization and bud condition affected plant height and diameter, but the interaction was not



2002). También se realizó un ANDEVA de la tasa relativa de crecimiento (TRC) longitudinal y diámetro del tallo (Kramer y Kozlowski, 1979). Con los datos del análisis destructivo se realizó un ANDEVA de dos vías para evaluar las diferencias en las características morfológicas (diámetro y altura), distribución de biomasa (peso seco de raíz, tallo, follaje y relación parte aérea/raíz), y estado nutricional (concentración y contenido total).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento de las plantas

La fertilización y la condición del brote afectaron la altura y el diámetro de las plantas, pero la interacción no fue significativa (Cuadro 2), es decir, en plantas con y sin daño en el brote la respuesta a la fertilización fue similar. La dosis de fertilización no modificó ( $p>0.05$ ) el crecimiento promedio en altura y diámetro de las plantas durante el ciclo de producción, pero sí en el último mes, así como la tasa relativa de crecimiento (Cuadro 2). Estos datos confirman el crecimiento lento de la especie en vivero (Moreno *et al.*, 2002), por lo que se requiere al menos siete meses para observar el efecto de la fertilización en el tamaño de la planta.

Las plantas de  $T_{Base}$  y  $T_{+50}$  alcanzaron las dimensiones finales y la TRC en altura y diámetro mayores (Figura 1). El crecimiento menor de las plantas en  $T_{-50}$  es esperado ya que la dosis de fertilización aplicada a estas plantas es 50 % menor que en  $T_{Base}$ , pero no el de las plantas con dosis  $T_{+100}$ , que recibieron el doble de fertilizante. Es posible que esta respuesta se deba en parte a la velocidad de crecimiento reducida de la especie, que no le permite aprovechar dosis elevadas de

significantes (Table 2), *i.e.*, in plants with and without damage to the bud the response to fertilization was similar. The fertilization dose did not change ( $p>0.05$ ) average growth in height and diameter of the plants during the production cycle, but it did in the last month, as well as the relative growth rate (Table 2). These data confirm the slow growth of the species in nursery (Moreno *et al.*, 2002), so it takes at least seven months to manifest the effect of fertilization in the plant size.

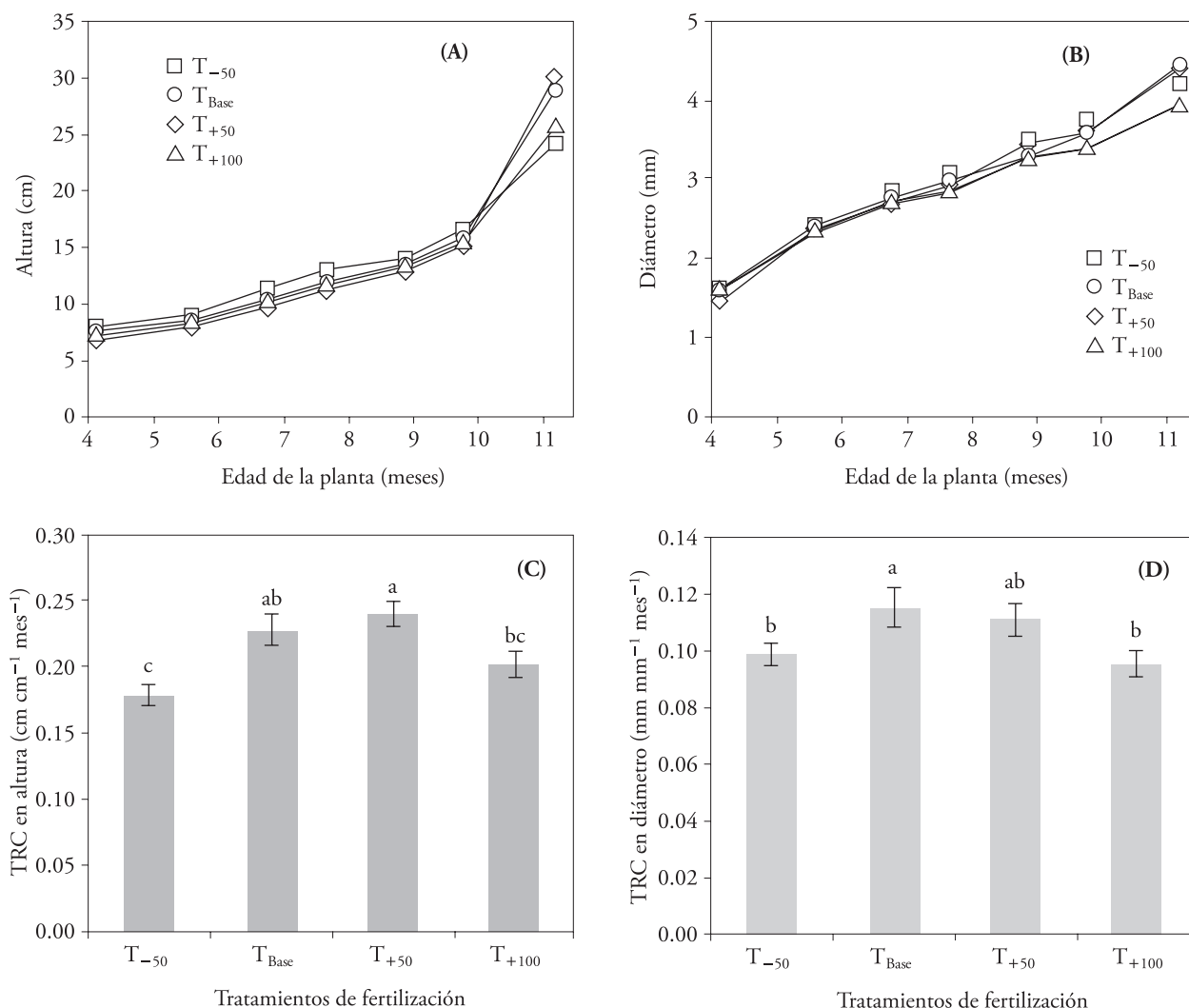
The plants of  $T_{Base}$  and  $T_{+50}$  reached higher final dimensions in height, basal diameter and RGR (Figure 1). The lower growth of plants in  $T_{-50}$  is expected as fertilization dose applied to these plants is 50 % lower than in  $T_{Base}$ , but is not in plants with dose  $T_{+100}$ , receiving twice fertilizer. This response may be due in part to the reduced growth rate of the species, which does not allow take advantage of high doses of nutrients. The nutrient content analysis may help explain the response of plants in this treatment.

The bud condition affected in a different way the growth in height and diameter of plants; plants with damage reached a height 5 % lower but a diameter 13 % greater than plants without damaged, a most notorious effect at the end of the production cycle (Figure 2). However, there were no significant differences in the RGR in diameter between the two groups of plants. The data would suggest that the terminal bud damage caused a delay in the elongation of a new lateral bud, when the height growth is delayed in plants with damage (larger initial size) the growth in diameter was favored and the initial advantage remained until the end, but without changing its relative growth rate (Figure 2).

**Cuadro 2. Significancia estadística (p) del efecto de la fertilización y de la condición del brote (con y sin daño) en la altura y diámetro del tallo en plantas de *Abies religiosa* en el periodo de cuatro a 11 meses de edad en vivero.**  
**Table 2. Statistical significance (p) of the effect of fertilization and bud condition (with and without damage) on the stem height and diameter in *Abies religiosa* plants in the period of four to eleven months of age in the nursery.**

| Factor                  | Altura       |              |                  | Diámetro     |              |       |
|-------------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|-------|
|                         | 4 a 11 meses | 11 meses     | TRC <sup>†</sup> | 4 a 11 meses | 11 meses     | TRC   |
| Fertilización (F)       | 0.658        | $\leq 0.001$ | $\leq 0.001$     | 0.193        | $\leq 0.001$ | 0.033 |
| Condición del brote (C) | 0.114        | 0.010        | $\leq 0.001$     | $\leq 0.001$ | $\leq 0.001$ | 0.110 |
| F×C                     | 0.391        | 0.475        | 0.467            | 0.444        | 0.203        | 0.196 |

<sup>†</sup>TRC=tasa relativa de crecimiento ♦ <sup>†</sup>TRC=Relative growth rate.



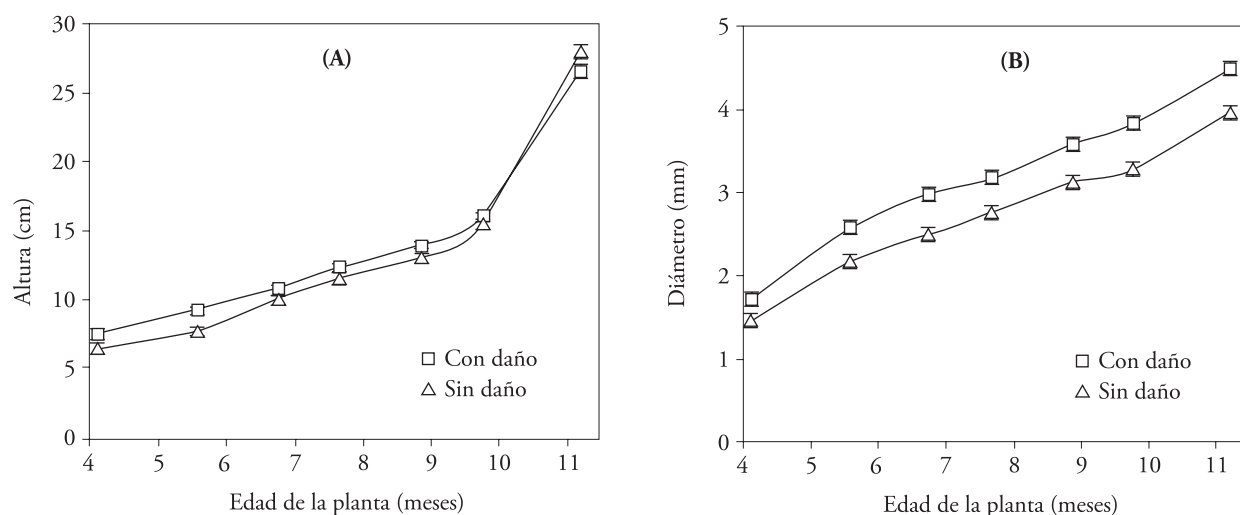
**Figura 1.** Efecto de la dosis de fertilización en el crecimiento promedio y TRC en altura (A, C) y diámetro (B, D) en plantas de *Abies religiosa* en vivero. En las Figuras C y D, barras con letra distinta son diferentes ( $p \leq 0.05$ ). Los tratamientos  $T_{-50}$ ,  $T_{+50}$  y  $T_{+100}$  son dosis 50 % menor, 50 % mayor y 100 % mayor que la dosis base ( $T_{Base}$ ) usada en el vivero.

**Figure 1.** Effect of the fertilization dose on the average growth and RGR in height (A, C) and diameter (B, D) in *Abies religiosa* plants in the nursery. In Figures C and D, bars with different letter are different ( $p \leq 0.05$ ). Treatments  $T_{-50}$ ,  $T_{+50}$  and  $T_{+100}$  are doses 50 % lower, 50 % greater and 100 % greater than the dose base ( $T_{Base}$ ) used in the nursery.

nutrientes. El análisis del contenido de nutrientes podría ayudar a explicar la respuesta de las plantas en este tratamiento.

La condición del brote afectó de manera distinta el crecimiento en altura y diámetro de las plantas; las plantas con daño alcanzaron una altura 5 % menor pero un diámetro 13 % mayor que las plantas sin daño, efecto más notorio al final del ciclo de producción (Figura 2). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la TRC en diámetro entre los dos grupos de plantas. Los datos permiten indicar que el daño en el brote terminal ocasionó un

The diameter of the stem of plants without damage at 10 months of age ranged from 1 mm (1.6 %) to 5 mm (0.5 %) in all treatments and 56.8 % was between 3 to 4 mm. The fertilization dose did not affect (Chi-square,  $p=0.13$ ) the diametric frequency distribution of the plants, so the doses used did not modify the plant size heterogeneity in the production batch. Between 65 and 78 % of plants in each fertilization treatment meet with the standard size in diameter ( $\geq 3$  mm) of San Luis nursery for using *A. religiosa* with purposes of restoration, with no significant differences between them.



**Figura 2.** Efecto de la condición del brote (con daño y sin daño) en el crecimiento en altura (A) y diámetro (B) de plantas de *Abies religiosa* en vivero. Las plantas con daño tuvieron un daño visible por heladas en el ápice del brote antes de iniciar los tratamientos de fertilización; las plantas sin daño no presentaron un daño visible por heladas en el brote.

**Figure 2.** Effect of bud condition (with damage and without damage) on height (A) and diameter (B) growth of *Abies religiosa* plants in nursery conditions. Plants with damage had a visible frost damage in the shoot apex before starting the fertilization treatments; plants without damage showed no visible frost damage in the bud.

retraso en el alargamiento de un nuevo brote lateral; al retrasarse el crecimiento en altura en las plantas con daño (de tamaño inicial mayor) se favoreció el crecimiento en diámetro y la ventaja inicial se mantuvo hasta el final, pero sin modificar su tasa relativa de crecimiento (Figura 2).

El diámetro del tallo de las plantas sin daño a los 10 meses de edad varió de 1 mm (1.6 %) a 5 mm (0.5 %) en todos los tratamientos y 56.8 % estuvo entre 3 a 4 mm. Las dosis de fertilización no afectaron (Ji-cuadrada,  $p=0.13$ ) la distribución de frecuencias diamétricas de las plantas, por lo cual las dosis usadas no modificaron la heterogeneidad en tamaño de planta en el lote de producción. Entre 65 y 78 % de las plantas en cada tratamiento de fertilización cumple con el tamaño estándar en diámetro ( $\geq 3$  mm) del vivero San Luis para el uso de *A. religiosa* con fines de restauración, sin diferencias significativas entre ellos.

### Características morfológicas y distribución de biomasa

La dosis de fertilización cambió ( $p \leq 0.05$ ) la altura de la planta y la asignación de biomasa a la raíz en plantas de una misma categoría diamétrica (Cuadro 3). El efecto también se manifestó en el índice de esbeltez, la relación parte aérea/raíz y el índice de

### Morphological characteristics and biomass distribution

The fertilization doses changed ( $p \leq 0.05$ ) plant height and biomass allocation to roots in plants of the same diameter class (Table 3). The effect is also seen in the sturdiness quotient, the shoot/root ratio and Dickson quality index (Table 3). However, the condition of the terminal bud only influenced the plant height and sturdiness quotient (Table 3).

Plants  $T_{-50}$  showed heights 15 % lower than in  $T_{Base}$  in average of the two conditions of the bud, but allocated 36.2 % more biomass to root than in  $T_{Base}$ , so that its sturdiness quotient and the shoot/root ratio were lower, and Dickson quality index was higher (Table 4). The growth reduction in some species of conifers is associated with low levels of nutrient availability especially N, limiting height growth. However, this factor can also modify the root system growth.

Plants with the lowest dose ( $T_{-50}$ ) were smaller in height, but with more biomass in root, also achieved a better balance between the shoot and root (IE, RPAR and ICD), which would give competitive advantage in a planting site with low soil moisture (Zweifel *et al.*, 2007; McDowell *et al.*, 2008). A more extensive root system promotes fine root contact



**Cuadro 3. Significancia estadística (p) del efecto de la fertilización y de la condición del brote (con y sin daño) en las características morfológicas de las plantas de *Abies religiosa* de una misma categoría diamétrica a los 11 meses de edad en vivero.****Table 3. Statistical significance (p) of the effect of fertilization and bud condition (with and without damage) on the morphological characteristics of *Abies religiosa* plants of the same diameter category at 11 months of age in the nursery.**

| Factor                  | Altura | PSR <sup>†</sup> | PST   | PSF   | IE     | RPAR   | ICD    |
|-------------------------|--------|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Fertilización (F)       | ≤0.001 | ≤0.001           | 0.506 | 0.074 | 0.002  | ≤0.001 | ≤0.001 |
| Condición del brote (C) | ≤0.001 | 0.171            | 0.234 | 0.720 | ≤0.001 | 0.186  | 0.494  |
| F×C                     | 0.990  | 0.806            | 0.194 | 0.333 | 0.976  | 0.323  | 0.714  |

<sup>†</sup>PSR=peso seco de raíz; PST=peso seco de tallo; PSF=peso seco de follaje; IE=índice de esbeltez; RPAR=relación parte aérea/raíz; ICD=índice de calidad de Dickson. ♦<sup>†</sup>PSR=root dry weight; PST=stem dry weight; PSF=foliar dry weight; IE=slenderness index; RPAR=shoot/root ratio; ICD=Dickson quality index.

calidad de Dickson (Cuadro 3). En cambio, la condición del brote terminal sólo influyó en la altura de la planta y el índice de esbeltez (Cuadro 3).

Las plantas de T<sub>-50</sub> presentaron alturas 15 % menores que en T<sub>Base</sub> en promedio de las dos condiciones del brote, pero asignaron 36.2 % más biomasa a la raíz que en T<sub>Base</sub>, por lo que su índice de esbeltez y relación aérea/raíz fueron menores, y su índice de calidad de Dickson fue mayor (Cuadro 4). La reducción del crecimiento en algunas especies de coníferas se asocia con niveles bajos de disponibilidad de nutrientes, especialmente N, que limitan el crecimiento en altura. Sin embargo, este factor también puede modificar el crecimiento del sistema radical.

Las plantas con la dosis menor (T<sub>-50</sub>) tuvieron la altura menor, pero con más biomasa en la raíz; además alcanzaron un equilibrio mayor entre la parte aérea y radical (IE, RPAR e ICD), lo cual les daría ventajas competitivas en un sitio de plantación

with high tension water in the micro pores of the soil and helps to tolerate drought (Grossnickle, 2000, Gomez *et al.*, 2002), the main stress factor limiting the success of reforestation (Margolis and Brand, 1990). In addition, a better balance between root and shoot and fibrous root systems gives a greater chance of survival in adverse environments (Grossnickle, 2005). These results indicate that the current fertilization dose in the nursery can be reduced to produce plants of *A. religiosa* smaller in height but more compact (smaller sturdiness quotient) and greater root/shoot ratio, features that could provide advantages in unfavorable sites.

#### Nutrient content and concentration

Fertilization and bud condition affected ( $p \leq 0.05$ ) N, P and K concentration in the plant tissue, but the effect was not similar in the nutrients and among

**Cuadro 4. Valores promedio por dosis de fertilización de las características morfológicas y biomasa de las plantas de *Abies religiosa* a los 11 meses de edad en vivero.****Table 4. Average values for fertilization dose of the morphological characteristics and plant biomass of *Abies religiosa* at 11 months of age in nursery conditions.**

| Dosis                         | Altura (cm)         | PSR <sup>†</sup> (g) | PST (g) | PSF (g) | IE     | RPAR  | ICD    |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------|---------|--------|-------|--------|
| T <sub>-50</sub> <sup>‡</sup> | 25.6 b <sup>§</sup> | 1.28 a               | 1.28 a  | 1.72 a  | 6.0 b  | 2.6 b | 0.53 a |
| T <sub>Base</sub>             | 30.3 a              | 0.94 bc              | 1.31 a  | 1.68 a  | 7.2 a  | 3.3 a | 0.38 b |
| T <sub>+50</sub>              | 31.2 a              | 0.83 c               | 1.39 a  | 1.74 a  | 7.1 a  | 3.9 a | 0.37 b |
| T <sub>+100</sub>             | 29.3 a              | 1.08 ab              | 1.43 a  | 2.01 a  | 6.8 ab | 3.4 a | 0.47ab |

<sup>†</sup>PSR=peso seco de raíz; PST=peso seco de tallo; PSF=peso seco de follaje; IE=índice de esbeltez; RPAR=relación parte aérea/raíz; ICD=índice de calidad de Dickson. <sup>‡</sup> Las dosis T<sub>-50</sub>, T<sub>+50</sub> y T<sub>+100</sub> son 50 % menor, 50 % mayor y 100 % mayor que la dosis base (T<sub>Base</sub>) usada en el vivero. <sup>§</sup> Valores promedio con distinta letra en una columna son diferentes ( $p \leq 0.05$ ). ♦<sup>†</sup>PSR=root dry weight; PST=stem dry weight; PSF=foliar dry weight; IE=slenderness index; RPAR=shoot/root ratio; ICD=Dickson quality index. <sup>‡</sup>Doses T<sub>-50</sub>, T<sub>+50</sub> and T<sub>+100</sub> are 50 % lower, 50 % greater and 100 % greater than the base dose (T<sub>Base</sub>) used in the nursery. <sup>§</sup>Average values with different letter in a column are different ( $p \leq 0.05$ ).

con poca humedad en el suelo (Zweifel *et al.*, 2007; McDowell *et al.*, 2008). Un sistema radical más extenso favorece el contacto de las raíces finas con el agua de alta tensión en los micro poros del suelo y ayuda a tolerar sequía (Grossnickle, 2000; Gomez *et al.*, 2002), principal factor de estrés que limita el éxito de la reforestación (Margolis y Brand, 1990). Además, un equilibrio mayor entre la raíz y la parte aérea y un sistema radicular fibroso dan una oportunidad de supervivencia mayor en ambientes adversos (Grossnickle, 2005). Estos resultados indican que se puede reducir la dosis actual de fertilización en el vivero para producir plantas de *A. religiosa* más pequeñas en altura, pero más compactas (índice de esbeltez menor) y con proporción raíz/parte aérea mayor, características que le podrían proporcionar ventajas en sitios desfavorables.

### Concentración y contenido de nutrientes

La fertilización y la condición del brote afectaron ( $p \leq 0.05$ ) la concentración de N, P y K en el tejido vegetal, pero el efecto no fue similar entre los nutrientes ni entre los componentes de la planta (Cuadro 5); la fertilización también afectó el contenido total de nutrientes (Cuadro 5). La interacción entre los dos factores sólo fue significativa para la concentración de N en la raíz y en las hojas, es decir, la condición del brote no modificó la respuesta de las plantas a la fertilización.

En  $T_{-50}$  se observaron las concentraciones menores de nutrientes en la raíz (N, P y K), en el tallo (P) y en las hojas (N) y el contenido menor de N total en la planta (Cuadro 6); las concentraciones

plant components (Table 5); also fertilization affected the total nutrient content (Table 5). The interaction between the two factors was significant only for N concentration in the root and leaves, *i.e.*, the bud condition did not modify the response of plants to fertilization.

In  $T_{-50}$  lower nutrient concentrations were observed in the root (N, P and K), in the stem (P) and in leaves (N) and lower content of N in the whole plant (Table 6); higher concentrations of these nutrients were observed in  $T_{-50}$  and  $T_{-100}$ , with differences of 5.5 % in P in stem, 41.3 % in N in root, and 32 % in the total N content in the plant, with respect to the values  $T_{-50}$  (Table 6). Plants in  $T_{+50}$  and  $T_{+100}$  showed the extreme values in total K content (Table 6), due to differences in biomass (Table 4).

In all fertilization treatments plants showed N, P and K concentrations in the foliage within or above the Landis (1985) range of nutrient sufficiency for containerized conifer species. P and K concentration in stem and root, but not that of N, was also higher than the values found in *P. resinosa* (Timmer and Armstrong, 1987). It is possible that N has presented a dilution effect on the root in plants of  $T_{-50}$  treatment, to produce more root biomass (Table 4).

A higher N content could provide competitive advantages to plants to meet conditions of low soil fertility, or serve as a reserve for further growth in the field. However, it could also cause disadvantages before adverse environmental conditions as high N concentrations in leaves relate to damages by low temperature in conifer species, due to the length of the growth period of the plant, which increases

**Cuadro 5. Significancia estadística (p) del efecto de la fertilización y de la condición del brote (con y sin daño) en la concentración de N, P y K en raíz, tallo, hojas y en su contenido total en plantas de *Abies religiosa*.**

**Table 5. Statistical significance (p) of the effect of fertilization and bud condition (with and without damage) of N, P and K concentration in root, stem, leaves and their total content in plants of *Abies religiosa*.**

| Factor                  | Concentración |              |              |              |              |       |              |       |       | Contenido    |       |              |
|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|--------------|
|                         | Raíz          |              |              | Tallo        |              |       | Hojas        |       |       | Planta       |       |              |
|                         | N             | P            | K            | N            | P            | K     | N            | P     | K     | N            | P     | K            |
| Fertilización (F)       | $\leq 0.001$  | $\leq 0.001$ | $\leq 0.001$ | 0.081        | $\leq 0.001$ | 0.223 | $\leq 0.001$ | 0.157 | 0.294 | $\leq 0.004$ | 0.325 | $\leq 0.032$ |
| Condición del brote (C) | $\leq 0.001$  | $\leq 0.001$ | $\leq 0.014$ | $\leq 0.002$ | $\leq 0.001$ | 0.081 | 0.187        | 0.042 | 0.543 | 0.948        | 0.189 | 0.866        |
| F×C                     | 0.008         | 0.064        | 0.085        | 0.422        | 0.374        | 0.192 | 0.004        | 0.608 | 0.295 | 0.340        | 0.891 | 0.711        |

**Cuadro 6. Valores promedio por dosis de fertilización de la concentración de N, P y K en raíz, tallo y hojas y su contenido total en plantas de *Abies religiosa* a los 11 meses de edad en vivero.****Table 6. Average values for fertilization dose of N, P and K concentration in root, stem and leaves and the total content in plants of *Abies religiosa* at 11 months of age in nursery conditions.**

| Dosis                         | Concentración (g kg <sup>-1</sup> ) |       |        |        |       |        |         |       |        | Contenido (mg planta <sup>-1</sup> ) |        |         |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|--------------------------------------|--------|---------|
|                               | Raíz                                |       |        | Tallo  |       |        | Hojas   |       |        |                                      |        |         |
|                               | N                                   | P     | K      | N      | P     | K      | N       | P     | K      | N                                    | P      | K       |
| T <sub>-50</sub> <sup>†</sup> | 8.3 c <sup>‡</sup>                  | 4.4 b | 13.3 b | 8.4 a  | 3.1 b | 12.4 a | 16.5 c  | 6.7 a | 16.5 a | 49.6 b                               | 21.1 a | 60.9 ab |
| T <sub>Base</sub>             | 9.8 b                               | 5.6 a | 14.8 a | 9.2 a  | 3.2 b | 12.4 a | 18.0 bc | 6.8 a | 17.0 a | 51.0 b                               | 20.8 a | 58.7 ab |
| T <sub>+50</sub>              | 11.7 a                              | 6.2 a | 14.9 a | 10.9 a | 3.7 a | 12.5 a | 21.3 a  | 7.3 a | 16.3 a | 61.3 ab                              | 22.8 a | 58.0 b  |
| T <sub>+100</sub>             | 10.1 b                              | 5.7 a | 15.4 a | 9.1 a  | 3.3 b | 13.7 a | 20.7 ab | 6.5 a | 18.0 a | 65.7 a                               | 23.6 a | 71.3 a  |

<sup>†</sup> Las dosis T<sub>-50</sub>, T<sub>+50</sub> y T<sub>+100</sub> son 50 % menor, 50 % mayor y 100 % mayor que la dosis base (T<sub>Base</sub>) usada en el vivero. <sup>‡</sup> Valores promedio con distinta letra en una columna son diferentes (p≤0.05) ♦ <sup>†</sup> Doses T<sub>-50</sub>, T<sub>+50</sub> and T<sub>+100</sub> are 50 % lower, 50 % greater and 100 % greater than the base dose (T<sub>Base</sub>) used in the nursery. <sup>‡</sup> Average values with different letter in a column are different (p≤0.05).

mayores de los mismos nutrientes se observaron en T<sub>+50</sub> y T<sub>+100</sub>, con diferencias de 5.5 % de P en tallo, 41.3 % de N en raíz, y 32 % en el contenido total de N en la planta, con respecto a los valores en T<sub>-50</sub> (Cuadro 6). Las plantas en T<sub>+50</sub> y T<sub>+100</sub> presentaron los valores extremos en contenido total de K (Cuadro 6), debido a sus diferencias en biomasa (Cuadro 4).

En todos los tratamientos de fertilización las plantas presentaron concentraciones de N, P y K en el follaje dentro o superiores al rango de suficiencia de Landis (1985) para especies de coníferas producidas en contenedor. La concentración de P y K en tallo y raíz, pero no la de N, también fue superior a los valores encontrados en *P. resinosa* (Timmer y Armstrong, 1987). Es posible que el N haya presentado un efecto de dilución en la raíz en las plantas del tratamiento T<sub>-50</sub>, al producir más biomasa de raíz (Cuadro 4).

Un contenido mayor de N podría proporcionar ventajas competitivas a las plantas al enfrentar condiciones de fertilidad baja en el suelo, o servir como reserva para un crecimiento mayor en campo. Sin embargo, también podría ocasionar desventajas ante condiciones ambientales adversas, ya que concentraciones altas de N en hojas se relacionan con daños por temperaturas bajas en especies de coníferas, debido a la extensión del periodo de crecimiento de la planta, que aumenta la susceptibilidad a daños por heladas tempranas (Benzian *et al.*, 1974; Rook, 1991). Aronsson (1980) encontró en *Picea sylvestris* la

susceptibilidad to damage by early frosts (Benzian *et al.*, 1974; Rook, 1991). Aronsson (1980) found in *Picea sylvestris* maximum cold resistance when N concentration in the needles was between 1.3 and 1.8 %; plants with concentrations outside this range showed frost damage.

In cases where there was a significant effect of the condition of the bud, plants with damage had a higher nutrient concentration (5.5 % K in root and 28.9 % N in stem) than plants without damage (Table 7). This is due to a dilution effect on plants without damage by the greater biomass in some of their components. However, a higher concentration in storage tissues as roots and stem are a source of energy for the plant after plantation in field, which could influence its establishment and performance.

### Implications in the *Abies religiosa* plant production

*Abies religiosa* plants showed a reduced growth rate in nursery conditions, a situation noted by Moreno *et al.* (2002) and partly due to seasonal growth pattern of the budbreak is species, adapted to short growing periods. Although the stem height and diameter increased with the fertilization dose, the response was reduced by doubling the dose used in the nursery, indicating a limited capacity of the species to take advantage of additional nutrients in an increased growth. The homogeneity in the

resistencia máxima al frío cuando la concentración de N en las acículas estuvo entre 1.3 y 1.8 %; plantas con concentraciones fuera de este intervalo presentaron daños por heladas.

En los casos donde hubo un efecto significativo de la condición del brote, las plantas con daño presentaron una concentración nutrimental mayor (5.5 % K en raíz y 28.9 % N en tallo) que las plantas sin daño (Cuadro 7). Esto se debe a un efecto de dilución en las plantas sin daño, por la biomasa mayor en algunos de sus componentes. Pero una concentración mayor en tejidos de almacenamiento como raíces y tallo es una fuente de energía para la planta después del trasplante en campo, lo cual podría influir en su establecimiento y desempeño.

### Implicaciones en la producción de planta de *Abies religiosa*

Las plantas de *A. religiosa* mostraron una tasa de crecimiento reducida en las condiciones del vivero, situación señalada por Moreno *et al.* (2002) y se debe en parte al patrón de crecimiento estacional del brote en esta especie, adaptada a periodos de crecimiento cortos. Aunque la altura y el diámetro del tallo aumentaron con la dosis de fertilización, la respuesta se redujo al duplicar la dosis usada en el vivero, indicando una capacidad limitada de la especie para aprovechar los nutrimentos adicionales en un crecimiento mayor. Tampoco aumentó la homogeneidad en el tamaño de planta, ni se redujo

size of plant did not increase either, or reduced the percentage of plants with smaller diameter than the standard requirement.

However, in plants of the same diametric category, the fertilization dose did affect other morphological characteristics such as root biomass, allometric relationships height/diameter and shoot/root ratio, and the nutrient concentration. The plants receiving fertilizer doses higher than that used in the nursery showed higher nutrient concentration, which in the context of a nutritional reserve or charge could provide them advantages in growth once established in the field (Landis, 1989; Salifu *et al.*, 2005). But they also showed lower quality indexes in terms of the balance of aerial and underground components. In contrast, plants with a dose 50 % below the dose used in the nursery had less height but allocated more resources to the root and their nutrient concentration in the foliage, although lower, was above the level of deficiency for conifers in a container (Landis, 1985). This indicates that it is possible to reduce up to 50 % the fertilization dose currently used in the nursery for the production of *A. religiosa* without adversely affecting the morphological indicators of plant quality.

The effect of fertilization on plant growth was independent of the damage caused by frost. However, the higher morphological quality indices obtained in plants with damage at the end of the production cycle, show that *A. religiosa* plants tolerate low

**Cuadro 7. Valores promedio por condición del brote terminal (con y sin daño) de la concentración de N, P y K en raíz, tallo y hojas, en plantas de *Abies religiosa* a los 11 meses de edad en vivero.**

**Table 7. Average values by condition of the terminal bud (with and without damage) of the N, P and K concentration on root, stem and leaves, in plants of *Abies religiosa* at 11 months of age at the nursery.**

| Condición del brote terminal | Concentración (g kg <sup>-1</sup> ) |       |        |        |       |        |        |       |        |
|------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
|                              | Raíz                                |       |        | Tallo  |       |        | Hojas  |       |        |
|                              | N                                   | P     | K      | N      | P     | K      | N      | P     | K      |
| Con daño <sup>†</sup>        | 10.3 a <sup>‡</sup>                 | 5.8 a | 15.0 a | 10.6 a | 3.5 a | 13.2 a | 18.6 a | 7.1 a | 16.7 a |
| Sin daño                     | 9.5 b                               | 5.2 b | 14.2 b | 8.2 b  | 3.1 b | 12.3 a | 19.7 a | 6.5 b | 17.1a  |

<sup>†</sup> Las plantas con daño tuvieron un daño visible por heladas en el ápice del brote antes de iniciar los tratamientos de fertilización; las plantas sin daño no presentaron un daño visible por heladas en el brote. <sup>‡</sup> Valores promedio con letra diferente en una columna son diferentes (p≤0.05) <sup>§</sup> Plants with damage had a visible damage due to frost at the bud apex before starting fertilization treatment; plants without damage did not show visible damage due to frost at the bud. <sup>§</sup> Average values with different letter in a column are different (p≤0.05).

el porcentaje de plantas con diámetro menor al estándar establecido.

Sin embargo, en plantas de una misma categoría diamétrica, la dosis de fertilización sí afectó otras características morfológicas como la biomasa de la raíz, las relaciones alométricas altura/diámetro y parte aérea/raíz, y la concentración de nutrimentos. Las plantas que recibieron dosis de fertilizante mayor que la usada en el vivero presentaron concentración de nutrimentos mayor, lo cual en el contexto de una reserva o carga nutricional les podría proporcionar ventajas en crecimiento una vez establecidas en campo (Landis, 1989; Salifu *et al.*, 2005). Pero también presentaron índices de calidad menores del balance de sus componentes aéreos y subterráneo. En cambio, las plantas con una dosis 50 % menor a la dosis usada en el vivero tuvieron menos altura, pero asignaron más recursos a la raíz y su concentración de nutrimentos en el follaje, aunque más baja, fue mayor al nivel de deficiencia para plantas de coníferas en contenedor (Landis, 1985). Esto indica que es posible reducir hasta en 50 % la dosis de fertilización usada actualmente en el vivero para la producción de *A. religiosa* sin afectar negativamente los indicadores morfológicos de calidad de planta.

El efecto de la fertilización en el crecimiento de las plantas fue independiente del daño ocasionado por las heladas. Sin embargo, los índices de calidad morfológica mayores obtenidos en las plantas con daño al final del ciclo de producción, muestran que las plantas de *A. religiosa* toleran temperaturas bajas (hasta  $-7^{\circ}\text{C}$ ) y que a pesar de la connotación negativa del efecto de las heladas, los daños ligeros en el ápice del brote podrían tener un efecto positivo en la calidad de planta, aspecto que deberá corroborarse después de evaluar su desempeño en campo.

## CONCLUSIONES

*Abies religiosa* presentó una respuesta positiva ligera a la fertilización en el crecimiento en altura y diámetro, pero el aumento en la dosis no redujo la heterogeneidad en el diámetro del tallo de las plantas. Al aumentar la dosis de fertilización la concentración de N, P y K aumentó en los componentes de la planta y la asignación de biomasa a la raíz se redujo, lo cual afectó negativamente los índices morfológicos

temperatures (up to  $7^{\circ}\text{C}$ ) and despite the negative connotation of the effect of frost, light damage in the bud apex could have a positive effect on plant quality, an aspect that should be corroborated after evaluating their performance in the field.

## CONCLUSIONS

*Abies religiosa* had a positive light response to fertilization in height and diameter growth, but the increase in the dose did not reduce heterogeneity in the basal diameter of plants. By increasing the fertilization dose the N, P and K concentration increased in the plant components and biomass allocation to the roots was reduced, which negatively affected the morphological indices of plant quality. Damage condition in the terminal bud modified growth, biomass allocation and nutrient concentrations in the components of the plant, but did not change the response of these to the dose of fertilization.

—End of the English version—



de calidad de planta. La condición de daño en el brote terminal modificó el crecimiento, la asignación de biomasa y la concentración de nutrientes en los componentes de la planta, pero no cambió la respuesta de éstas a la dosis de fertilización.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, y al Ing. Salvador Castro Zavala, gerente del Vivero San Luis Tlaxiátemalco, por el apoyo material y humano para producir la planta de *Abies religiosa* para esta investigación.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado R., D., L.I. de Bauer, and A.J. Galindo. 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environ. Poll.* 80: 115-121.
- Alvarado R., D., and T. Hernández T. 2002. Decline of sacred fir in the Desierto de los Leones National Park. In: Fenn, M., L. I. de Bauer, and T. Hernández-Tejeda (eds). *Urban Air Pollution and Forests: Resources at Risk in the Mexico*



- City Air Basin. Ecological Studies Series, Vol. 156. Springer-Verlag, N.Y. pp: 243-260.
- Allan, J. E. 1971. The preparation of agricultural samples for analysis by atomic absorption spectroscopy. Varian Techtron, Walnut Creek, California. 15 p.
- Aronsson, A. 1980. Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.) II. Hardiness during winter and spring in young trees of different mineral nutrient status. *Studia Forestalia Suecica* No. 155. 27 p.
- Blanco-García, A., C. Saenz-Romero, C. Martorell, and P. Alvarado-Sosa. 2011. Nurse-plant and mulching effects on three conifer species in a Mexican temperate forest. *Ecol. Eng.* 37: 994-998.
- Benzian, B., R. M. Brown, and C. R. Freeman. 1974. Effect of late-season top-dressings of N (and K) applied to conifer transplants in the nursery on their survival and growth on British forest sites. *Forestry* 47: 153-184.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In: Black, C. A. (ed). *Methods of Soil Analysis (Part 2)*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. pp: 1149-1178.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Evaluación Externa de los Apoyos de Reforestación 2009. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 140 p.
- Duryea, M. L. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. In: Duryea, M. L., and T. D. Landis (eds). *Forest Nursery Manual: Production of bare root seedlings*. MartinusNijhoff/Dr. W. Junk Publishers. pp: 143-164.
- Gomez, A., R. F. Powers, M. J. Singer, and W. R. Horwath. 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1334-1343.
- Grossnickle, S. C. 2000. *Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings*. NRC Research Press, Ottawa. 407 p.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New For.* 30: 273-294.
- Grossnickle, S. C. 2012. Why seedlings survive: influence of plant attributes. *New For.* 43: 711-738.
- Hernández M., E. 1985. Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Boletín del Instituto de Geografía* 15: 75-118.
- Islam, M. A., K. G. Apostol, D. F. Jacobs, and R. K. Dumroese. 2009. Fall fertilization of *Pinus resinosa* seedlings: nutrient uptake, cold hardiness, and morphological development. *Ann. For. Sci.* 66: 704-713.
- Kramer, P. J., and T. T. Kozlowski. 1979. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press, New York. 811 p.
- Landis, T. D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. In: Duryea, M. (ed). *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests*. For. Res. Lab., Oregon State University, Corvallis, OR. pp: 29-48.
- Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds). *The Container Tree Nursery Manual, Volume 4: Seedling Nutrition and Irrigation*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Agric. Handbook 674. Washington, DC. pp: 1-67.
- Margolis, H. A., and D. G. Brand. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20: 375-390.
- McDowell, N., W. T. Pockman, C. D. Allen, D. D. Bershears, N. Cobb, T. Kolb, J. Plaut, J. Sperry, A. West, D. G. Williams, and E. A. Yezzer. 2008. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytol.* 178: 719-739.
- Mexal, J. G., R. A. Cuevas R., and T. D. Landis. 2008. Reforestation success in central Mexico: factors determining survival and early growth. *Tree Planters' Notes* 53: 16-22.
- Millner, J. P., and P. D. Kemp. 2012. Foliar nutrients in Eucalyptus species in New Zealand. *New For.* 43: 255-266.
- Moreno Ch., L. R., M. A. López L., E. Estañol B., y A. Velázquez M. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham. en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques* 8(1): 51-60.
- Moser, E. B., A. M. Saxton, and S. R. Pezeshki. 1990. Repeated measures analysis of variance: application to tree research. *Can. J. For. Res.* 20: 524-535.
- Puttonen, P. 1997. Looking for the "silver bullet", can one test do it all? *New For.* 13: 9-27.
- Ritchie, G. A., T. D. Landis, R. K. Dumroese, and D. L. Haase. 2010. Assessing plant quality. In: Landis, T. D., R. K. Dumroese, and D. L. Haase (eds). *The Container Tree Nursery Manual, Volume 7: Seedling Processing, Storage and Outplanting*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service. Agric. Handbook 674. Washington, DC. pp: 17-81.
- Rook, D. E. 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. In: Van Den Driessche, R. (ed). *Mineral Nutrition of Conifer Seedlings*. CRC Press. Boca Raton. Florida. pp: 85-101.
- Salifu, K. F., D. F. Jacobs, and Z. Birge. 2005. Maximizing nutrient storage in nursery culture to promote retranslocation and growth of outplanted seedlings. In: Colombo, S. J. (comp.) *The Thin Green Line: A symposium on the state-of-the-art in reforestation*, Proceedings. Ont. Min. Nat. Resour., Ont. For. Res. Inst., For. Res. Inf. Pap. No. 160. pp: 86-91.
- Sánchez G., A., L. López M., y D. Granados S. 2005. Semejanza florística entre los bosques de *Abies religiosa* (H.B.K.) Cham. & Schltdl. de la Faja Volcánica Transmexicana. *Invest. Geográf.* 56: 62-76.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute. 2002. *SAS/STAT Computer Software*. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary, N. C. 5121 p.
- Timmer, V. R. 1996. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New For.* 13: 275-295.
- Timmer, V. R., and G. Armstrong. 1987. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* at exponentially increasing nutrient additions. *Can. J. For. Res.* 17: 644-647.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation what you can tell by looking. In: Duryea, M. (ed). *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. For. Res. Lab. Oregon State University, Corvallis, OR. pp: 59-71.
- Valenzuela, R., T. Raymundo, y M. R. Palacios. 2004. Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el eje Neovolcánico transversal. *Polibotánica* 18: 33-51.
- Velázquez M., A. 1994. Multivariate analysis of the vegetation of the volcanoes Tlaloc and Pelado, Mexico. *J. Veg. Sci.* 5: 263-270.

- Wightman E., K., y C. B. Santiago. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. Foresta Veracruzana 5: 45-51.
- Wilson, A. R., P. Nzokou, D. Güney, and S. Kulac. 2013. Growth response and nitrogen use physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*), red pine (*Pinus resinosa*), and hybrid poplar under amino acid nutrition. New For. 44: 281-295.
- Zweifel, R., K. Steppe, and F. J. Sterck. 2007. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. J. Exp. Bot. 58: 2113-2131.