

CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA DE UNA PLANTACIÓN DE OYAMEL [*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.] DE DOS PROCEDENCIAS EN MÉXICO CENTRAL

SEEDLING QUALITY AND SURVIVAL OF A TRUE FIR [*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.] FOREST PLANTATION FROM TWO PROVENANCES IN CENTRAL MEXICO

José L. Gallardo-Salazar¹, Dante A. Rodríguez-Trejo^{1*}, Salvador Castro-Zavala²

¹División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. México. (dantearturo@yahoo.com). ²Gobierno de la Ciudad de México, Comisión de Recursos Naturales, Vivero San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad de México. México.

RESUMEN

Las investigaciones en México sobre calidad de planta de especies forestales aumentaron desde 1999, a pesar de su importancia para el éxito de las plantaciones y aún hay pocas especies con datos validados en el sitio de plantación. Con el objetivo de comparar los atributos de calidad de plantas de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. procedentes de La Soledad, Tlaxcala, y Santa Ana Tlacotenco, Ciudad de México, en vivero y posterior evaluación de incrementos en campo, ambas procedencias se cultivaron en contenedores en el vivero San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad de México. Las variables medidas fueron: altura, diámetro al cuello de la raíz, peso seco de vástago y raíz, peso seco total, relación peso seco de vástago/raíz, coeficiente de esbeltez e índice de calidad de Dickson, junto con el crecimiento potencial de raíz. La plantación experimental se estableció en Santa Ana Tlacotenco. Seis y 12 meses después de plantar, se evaluó la supervivencia de los árboles; y a los 12 meses, altura, diámetro al cuello de la raíz, y pesos secos de vástago, de raíz y total. En vivero y en la plantación se usó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones. Los datos se analizaron con ANDEVA, se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se realizaron correlaciones de Pearson entre todas las variables al momento de plantar y un año después. La procedencia no afectó los indicadores de calidad de planta ni la supervivencia a un año de la plantación. Los valores medios de los brinzales en vivero fueron: 4.5 mm (diámetro al cuello de la raíz), 29.2 cm (altura), 6.0 g (peso seco total), 6.6 (coeficiente de esbeltez), 1.4 (relación peso seco de vástago/raíz) y 0.8 (índice de calidad de Dickson). La prueba de crecimiento potencial de raíz produjo 22 raíces nuevas. La relación vástago/raíz tuvo correlación significativa con peso seco de raíz al año de la plantación para la procedencia Ciudad de México. En la procedencia Tlaxcala, el

ABSTRACT

In Mexico, research about the seedling quality of tree species has only increased as of 1999; despite its importance for successful plantations, there are still few species with validated data in plantation sites. In order to compare the seedling quality attributes of *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham. plants from La Soledad, Tlaxcala and Santa Ana Tlacotenco, Mexico City, in nursery conditions and further evaluations of increments in the field site, we cultivated the trees from both provenances in containers in the nursery of San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Mexico City. The studied variables were height, diameter at root collar, shoot and root dry weights, total dry weight, shoot to root ratio, slenderness coefficient, and Dickson quality index, along with the root growth potential. We established the experimental plantation in Santa Ana Tlacotenco. Six and 12 months after planting, we evaluated the survival of the trees; and 12 months after planting, we measured height, diameter at root collar, and shoot, root, and total dry weights. In both, the nursery and the plantation, we used a randomized block design with four repetitions. We analyzed the data with ANOVA; we used a Tukey test ($p \leq 0.05$) to compare the data and Pearson correlations between all the variables during the plantation and one year after the plantation. The provenance did not affect the indicators of seedling quality nor the survival one year after the plantation. The mean values of the seedlings in the nursery were: 4.5 mm (diameter at root collar), 29.2 cm (height), 6.0 g (total dry weight), 6.6 (slenderness coefficient), 1.4 (shoot to root ratio), and 0.8 (Dickson quality index). The test of root growth potential produced 22 new roots. In the trees from Mexico City, we observed a significant correlation between the shoot to root ratio and the root dry weight one year after the plantation. In the trees from Tlaxcala, the initial Dickson quality index correlated significantly with the increase in the root dry weight one year after planting. These values represent the seedling quality and allow us to predict a high survival in plantations of *A. religiosa* in the area of study.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2018. Aprobado: febrero, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 631-643. 2019.

índice de calidad de Dickson inicial se correlacionó significativamente con el incremento en peso seco de raíz al año de plantar. Los valores de los indicadores de calidad evaluados, permiten predecir una alta supervivencia en plantaciones de *A. religiosa* en la zona de estudio.

Palabras clave: *Abies religiosa*, planta de calidad, reforestación, viveros forestales.

INTRODUCCIÓN

El oyamel [*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.] se distribuye en las zonas altas de las montañas desde Sinaloa y San Luis Potosí, México, hasta Guatemala, entre 2500 y 3660 m. En México se encuentra principalmente a lo largo del Eje Neovolcánico, desde Veracruz hasta Michoacán y Jalisco (Rzedowski y Rzedowski, 2001). Esta especie tiene importancia económica, porque se usa para fabricar pulpa para papel, cajas, canastas y empaques para alimentos. Puntas y árboles juveniles tienen demanda como árboles de navidad, y ahora su cultivo y uso con este propósito se presenta en la cuenca de México (Cuevas-Guzmán *et al.*, 2008). Los bosques del sur de la Ciudad de México cubren unas 50 000 ha, de las cuales alrededor de 8000 ha corresponden a bosques de oyamel. Estos bosques se utilizan en actividades de recreación y ofrecen servicios ambientales cruciales a los pobladores de tal ciudad, como recarga de mantos acuíferos, retención del suelo, captura de carbono y mejoramiento de la calidad del aire (Ezcurra, 2010).

La producción de plantas de oyamel se utiliza para fomentar las plantaciones con fines de restauración y plantaciones comerciales para árboles de navidad. Estos se convierten en alternativa para el desarrollo sustentable al reconvertir terrenos de baja productividad agropecuaria y de vocación forestal, a su uso original. Desde el punto de vista ambiental, la producción de árboles de navidad permite reincorporar al uso forestal los terrenos sin cubierta arbórea o que tienen actividades agropecuarias de bajas productividad y rentabilidad. En México, cada año se demandan de 1.5 a 2 millones de árboles de navidad; 60 % de esta demanda se cubre con importación y el resto con especies nacionales, entre estas el oyamel es una de las cinco especies más demandadas (Zamora, 2015).

Para mejorar la supervivencia en cualquier plantación (a reserva del disturbio humano), se necesitan plantas de calidad, las cuales tienen las características

Key words: *Abies religiosa*, quality plant, reforestation, tree nurseries.

INTRODUCTION

Sacred fir [*Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham.] is distributed in high mountainous areas from Sinaloa and San Luis Potosí, Mexico, to Guatemala, between 2500 and 3660 m. In Mexico, this species is found mainly in the Trans-Mexican Volcanic Belt, from Veracruz to Michoacan and Jalisco (Rzedowski and Rzedowski, 2001). This species is economically important because it is used to produce pulp for paper, boxes, baskets, and packaging for food products. Its tips, as well as young trees, are used as Christmas trees; nowadays, its planting and use for this purpose occur in the Mexico basin (Cuevas-Guzmán *et al.*, 2008). The southern forests of Mexico City occupy approximately 50 000 ha, from which around 8000 ha corresponds to sacred fir forests. These forests are used for recreational activities and offer critical environmental services to the residents of this city, *e.g.*, aquifer recharge, soil retention, carbon capture, and air quality improvement (Ezcurra, 2010).

The production of sacred fir plants is used to encourage restoration plantations and commercial plantations for Christmas trees. These are turning into an alternative for sustainable development, as they retransform lands with low agricultural and cattle productivity and with forestry aptitudes, to their original use. From the environmental point of view, the production of Christmas trees allows reincorporating to its forestry use the lands that lack tree covering or harbor agricultural and cattle activities with low productivity and profitability. In Mexico, the Christmas tree demand is of 1.5 to 2 millions per year; importation covers 60 % of this demand, national species cover the rest, among these, the sacred fir is one of the five species with higher demands (Zamora, 2015).

In order to improve survival in any plantation (aside from human disturbances control) quality plants are needed; these plants possess morphological and physiological characteristics that allow them to establish, grow, and vigorously develop in the plantation site. Survival is higher with quality plants. In Mexico, research about this topic increased in the current century, and despite advances made, there remain many important species to study (Rodríguez-

morfológicas y fisiológicas que les permiten establecerse, crecer y desarrollarse con vigor en el sitio de plantación. Cuando se utiliza planta de calidad, la supervivencia es mayor. La investigación de este tema en México aumentó en este siglo, y aunque hay avances, quedan muchas especies relevantes por estudiar (Rodríguez-Trejo, 2008). *Abies religiosa* ha recibido poca atención en la investigación de sus indicadores de calidad. Benavides-Meza *et al.* (2011) estudiaron su crecimiento en vivero, y Moreno-Chávez *et al.* (2002) y Navarro-Sandoval *et al.* (2013) investigaron su morfología y nutrición, también en vivero. A pesar de la importancia de estas contribuciones, al parecer no hay estudios que corroboren la supervivencia y el incremento del crecimiento en el sitio de plantación.

Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron comparar los atributos de calidad de planta de dos procedencias de *A. religiosa* (Tlaxcala y Ciudad de México), evaluar su supervivencia e incrementos a un año de su establecimiento en campo. La hipótesis fue que la procedencia Ciudad de México tendrá mayores incrementos y supervivencia en campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de vivero

Los brinzales de *A. religiosa* se produjeron en el vivero San Luis Tlaxiátemalco (Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México), en la Delegación Xochimilco (19° 16' 03" N, 99° 01' 46" O), ubicado a una altitud de 2230 m; la planta se produjo en el ciclo 2010-2011, con semilla proveniente de dos sitios de recolección diferentes: La Soledad, Tlaxcala (19° 31' 00" N, 98° 37' 00" O), con precipitación media anual de 800 mm, temperatura media anual de 12 °C y altitud de 3100 m; y Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta, Ciudad de México (19° 04' 30" N, 98° 59' 00" O), precipitación media anual de 1200 mm, temperatura media anual de 10 °C y altitud de 3200 m.

Para la producción de la planta en vivero se utilizaron contenedores de plástico negro rígido con una capacidad de 93 cm³, con altura de 8.6 cm, y diámetro de 4.1 cm por cavidad, en charolas Hyko® V-93 (21.6×35.3 cm) con 40 cavidades (528 cavidades m⁻²). El sustrato fue una mezcla de turba de musgo (40 %), vermiculita (40 %) y agrolita (20 %). A la mezcla se agregaron 4 kg de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®), 15-9-12 (N-P-K) por metro cúbico de mezcla, con un periodo de liberación de nutrientes de 9 meses. Al momento de la germinación, se aplicó el inóculo micorrízico *Pisolithus tinctorius* (Pers.)

Trejo, 2008). Research of the quality indicators of *Abies religiosa* has not received much attention. Benavides-Meza *et al.* (2011) studied its growth on a nursery, and Moreno-Chávez *et al.* (2002) and Navarro-Sandoval *et al.* (2013) investigated its morphology and nutrition, also on nurseries. Despite the importance of these contributions, it seems no information corroborates the survival and growth increase in the plantation site.

Based on the above, the objectives of this study were to compare the seedling quality attributes of *A. religiosa* from two provenances (Tlaxcala and Mexico City), evaluate their survival and growth after one year from their field establishment. The hypothesis was that the growth and survival in the field site of the Mexico City provenance will be higher.

MATERIALS AND METHODS

Nursery stage

The San Luis Tlaxiátemalco nursery [(General Directorate of the Natural Resources Commission of the Ministry of Environment, Mexico City (Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México)], in Xochimilco (19° 16' 03" N, 99° 01' 46" W), located at an altitude of 2230 m, produced the seedlings of *A. religiosa* during the 2010-2011 cycle with seeds from two different recollection sites: La Soledad, Tlaxcala (19° 31' 00" N, 98° 37' 00" W), with an annual mean precipitation of 800 mm, annual mean temperature of 12 °C, and altitude of 3100 m; and Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta, Mexico City (19° 04' 30" N, 98° 59' 00" W), annual mean precipitation of 1200 mm, annual mean temperature of 10 °C, and altitude of 3200 m.

In the nursery, for the plant production, we used black, rigid plastic containers with a 93 cm³ capacity, 8.6 cm height, and a 4.1 cm diameter per cavity, in Hyko® trays V-93 (21.6×35.3 cm) with 40 cavities (528 cavities m⁻²). The substrate was a mixture of peat moss (40 %), vermiculite (40 %), and agrolite (20 %). We added to the mixture 4 kg of controlled release fertilizer (Osmocote®), 15-9-12 (N-P-K), per cubic meter of the mixture, with a nutrient release period of 9 months. At the time of germination, we applied the mycorrhizal inoculum *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker *et* Couch. Additionally, we applied Peters® water-soluble fertilizers. The fertilization during the different stages of cultivation was as follows: during the establishment stage, 25 mg L⁻¹ of N with calcium nitrate and with the fertilizers 9-45-15 and 4-25-35 (N-P-K), twice a week. During the entire production cycle, we added the following micronutrients: 20 mg L⁻¹ of Mg (magnesium sulfate), 10 mg

Coker *et Couch*. Además, se aplicaron fertilizantes hidrosolubles Peters®. La fertilización para las distintas etapas de cultivo fue la siguiente: en la etapa de establecimiento, dos veces por semana se aplicaron 25 mg L⁻¹ de N con nitrato de calcio y con los fertilizantes 9-45-15 y 4-25-35 (N-P-K). Durante todo el ciclo de producción se agregaron los siguientes micronutrientes: 20 mg L⁻¹ de Mg (sulfato de magnesio), 10 mg L⁻¹ de Fe (sulfato ferroso), 10 mg L⁻¹ de Cu (sulfato cúprico), 5 mg L⁻¹ de Zn (sulfato de zinc) y 5 mg L⁻¹ de B (ácido bórico). Para la fase de endurecimiento 1 se aplicaron 50 mg L⁻¹ de N, 2-3 veces por semana. También se agregaron 0.5 mg L⁻¹ de Mo (molibdato de sodio), de aquí en adelante. Durante las fases de crecimiento rápido 1 y 2, se utilizaron de 50 a 75 mg L⁻¹ de N, de dos a tres veces por semana, con los fertilizantes 9-45-15 y 4-25-35 (N-P-K). Para la etapa final, endurecimiento 2, se añadieron 200 mg L⁻¹ de K (fosfato monopotásico), dos veces a la semana, así como 75 a 100 mg L⁻¹ de N (9-45-15, N-P-K), y nitrato de calcio una vez a la semana. En cada fertirrigación se aplicó una media de 70 mL de solución fertilizante por cavidad. El riego durante la fase de establecimiento fue ligero y se buscó mantener húmedo el sustrato. Durante las etapas de crecimiento rápido se proporcionaron riegos cada tercer día a capacidad de campo. En las etapas de endurecimiento el riego se dio más espaciado.

Para las pruebas de calidad de planta en vivero, el diseño experimental fue de bloques completos al azar, con dos tratamientos (procedencias), y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental tuvo cuatro charolas, y de cada unidad experimental se extrajeron seis plantas para medir las variables e índices morfológicos.

Fase de laboratorio

Para diagnosticar la calidad de planta de *A. religiosa*, al finalizar el ciclo de producción en vivero (10 meses después de la siembra), se midieron las variables morfológicas: diámetro al cuello de la raíz (mm) con vernier (Mitutoyo®), altura desde la base hasta la parte terminal de la yema apical (cm) con regla, peso seco del vástago (tallo, ramas, follaje, yema), de la raíz (raíces principales, laterales y finas) y total (g). Para ello las plantas se dividieron en vástago y raíz, y se colocaron en un horno de secado (Ríos Rocha® S. A., modelo H-41) a 85 °C hasta obtener peso constante. Los pesos se determinaron con una balanza electrónica digital (Ohaus®, modelo N14120).

Con estos datos se calculó el índice de esbeltez (E), la relación peso seco de vástago/raíz (A/R) y el índice de calidad de Dickson (D), ecuaciones 1 a 3. En estas pruebas se utilizó una muestra destructiva de 24 brinzales de cada procedencia, seleccionados al azar, para un total de 48. En el caso de E y A/R, los mejores valores son los bajos, que denotan una planta más proporcional, y para D se prefieren los valores altos (Ritchie *et al.*, 2010).

L⁻¹ of Fe (ferrous sulfate), 10 mg L⁻¹ of Cu (cupric sulfate), 5 mg L⁻¹ of Zn (zinc sulfate), and 5 mg L⁻¹ of B (boric acid). During the hardening stage 1, we applied 50 mg L⁻¹ of N, 2-3 times per week. We also added 0.5 mg L⁻¹ of Mo (sodium molybdate), henceforth. During the fast growth stages 1 and 2, we used 50 to 75 mg L⁻¹ of N, 2-3 times per week, with the fertilizers 9-45-15 and 4-25-35 (N-P-K). For the final stage, hardening 2, we added 200 mg L⁻¹ of K (monopotassium phosphate), twice a week, as well as 75 to 100 mg L⁻¹ of N (9-45-15, N-P-K), and calcium nitrate once a week. In each fertirrigation, we applied a mean of 70 mL of fertilizer solution per cavity. The irrigation during the establishment stage was light, and we maintained the substrate humid. During the fast growth stages, we irrigated every third day to field capacity. During the hardening stages, irrigation was less frequent.

For the nursery seedling quality tests, we used an experimental randomized complete block design, with two treatments (provenances) and four repetitions. Each experimental unit had of four trays, and from each experimental unit, we extracted six plants to measure the morphological variables and indicators.

Laboratory stage

To determine the seedling quality of *A. religiosa*, at the end of the nursery production cycle (10 months after seeding), we measured the following morphological variables: diameter at root collar (mm) with a Vernier (Mitutoyo®), height from the base to the terminal part of the apical bud (cm) with a ruler, shoot dry weight (stem, branches, leaves, bud), root dry weight (principal, lateral, and fine roots), and total dry weight (g). To this end, we divided the plants in shoot and root and introduced them into a drying oven (Ríos Rocha® S. A., H-41 model) at 85 °C until we obtained a constant weight. We measured the weights with an electronic digital scale (Ohaus®, N14120 model).

With these data, we calculated the slenderness coefficient (E), the shoot to root ratio (S/R), and the Dickson quality index (D), equations 1 to 3. For these tests, we used a destructive sample of 24 seedlings of each provenance, randomly selected, for a total of 48. In the case of the E and the S/R, the lower values are the best, which indicate a more proportional plant, and for D higher values are preferred (Ritchie *et al.*, 2010).

$$E = h / d \quad [1]$$

$$S/R = sdw / rdw \quad [2]$$

$$D = tdw / (E + S/R) \quad [3]$$

where: *h*: height (cm); *d*: diameter at root collar (mm); *sdw*: shoot dry weight (g); *rdw*: root dry weight (g); *tdw*: total dry weight.

$$E = a / d \quad [1]$$

$$A/R = psv / psr \quad [2]$$

$$D = pst / (E + A/R) \quad [3]$$

donde: a : altura (cm); d : diámetro al cuello de la raíz (mm); psv : peso seco de vástago (g); psr : peso seco de la raíz (g); pst : peso seco total.

Fase de invernadero

De manera conjunta se realizó una prueba de crecimiento potencial de raíz. Para ello se preparó una mezcla a partes iguales de vermiculita, turba de musgo y arena de río cernida. Se trasplantaron cinco brinzales por repetición del experimento en vivero, a macetas de 5 L con este sustrato, cuatro macetas por procedencia (ocho macetas y 40 plantas). Al cabo de cuatro semanas se contaron y midieron las raíces nuevas ≥ 1 cm de longitud, para calcular el índice de crecimiento de la raíz (ICR) desarrollado por Tanaka *et al.* (1997). Con este índice, en la medida que un brinzal emite más raíces nuevas, se le considera más vigoroso.

Plantación experimental

El método de preparación del terreno fue de cepa común ($40 \times 40 \times 40$ cm), con un diseño en marco real y un espaciamiento entre árboles de 2 m. La plantación se realizó el 2 de septiembre de 2011, una vez regularizado el periodo de lluvias, en Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta, Ciudad de México, en el paraje denominado Xixicuinitenco, cuyas coordenadas son $98^\circ 58' 44''$ O y $19^\circ 6' 43''$ N, a una altitud de 3276 m. Debido a que *A. religiosa* es una especie tolerante a la sombra, la plantación se realizó bajo dosel abierto dominado por *Pinus pseudostrobus* Lindl. Los brinzales se plantaron entre zacatal chaponeado.

Después de seis y 12 meses de establecida la plantación, se evaluó la supervivencia de cada lote experimental. Además, al año se midió el diámetro al cuello de la raíz, altura y pesos secos de vástago, raíz y total, a una muestra destructiva de 5 brinzales por unidad experimental. La diferencia (incremento) entre tales variables se obtuvo al inicio de la plantación y después de un año de su establecimiento.

En la plantación se usó el diseño experimental de bloques completos al azar, con dos tratamientos (procedencias), y cuatro repeticiones, cada parcela con 30 brinzales. En total se plantaron 240 árboles. Entre las fases de medición de indicadores de calidad, crecimiento potencial de la raíz y la plantación experimental, se usaron 328 brinzales, incluida la muestra destructiva de 88 de ellos.

Greenhouse stage

We also conducted a test to evaluate the root growth potential. To this end, we prepared an equal parts mixture of vermiculite, peat moss, and sieved river sand. We transplanted five seedlings per repetition of the nursery experiment to 5 L plant pots with this substrate, four plant pots per provenance (eight plant pots and 40 plants). At the end of four weeks, we counted and measured the new roots ≥ 1 cm long, to calculate the root growth index (RGI) developed by Tanaka *et al.* (1997). With this index, the plants with the highest number of new roots produced by the seedlings are considered the most vigorous.

Experimental plantation

We used the standard hole land preparation method ($40 \times 40 \times 40$ cm), with a square pattern and a space between trees of 2 m. The plantation was carried out on September 2 of 2011, once the rainy season regularized, in Santa Ana Tlacotenco, Milpa Alta, Mexico City, in the site known as Xixicuinitenco, which coordinates are $98^\circ 58' 44''$ W and $19^\circ 6' 43''$ N, at an altitude of 3276 m. Because *A. religiosa* is a species that tolerates shade, the plantation is under an open canopy dominated by *Pinus pseudostrobus* Lindl. We planted the seedlings between cut pasture land.

Six and 12 months after the establishment of the plantation, we evaluated the survival of each experimental plot. Also, after one year, we measured the diameter at root collar, the height, and the shoot, root, and total dry weights, in a destructive sample of 5 seedlings per experimental unit. We calculated the difference (increase) between such variables at the beginning of the plantation and one year after its establishment.

In the plantation, we used the randomized complete block experimental design, with two treatments (provenances), and four repetitions, each plot with 30 seedlings. In total, we planted 240 trees. Between the measurement of quality indicators, root growth potential, and experimental plantation phases, we used 328 seedlings, including the destructive sample of 88 of these.

Statistical model

The general statistical model used for the nursery and plantation was:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad [4]$$

where: y_{ijk} : k -th observation, of the j -th block of the i -th provenance; μ : overall mean; α_i : effect of the i -th provenance; β_j : effect of the j -th block; ε_{ijk} : experimental error.

Modelo estadístico

El modelo estadístico general utilizado en vivero y plantación, fue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad [4]$$

donde: y_{ijk} : observación k -ésima, del j -ésimo bloque de la i -ésima procedencia; μ : media general; α_i : efecto de la i -ésima procedencia; β_j : efecto del j -ésimo bloque; ε_{ijk} : error experimental.

Análisis estadístico

Para detectar posibles diferencias entre los indicadores de las dos procedencias, se realizó un análisis de varianza y otro de comparación de medias con el programa SAS, v. 9.1[®]. En todos los análisis se usó el procedimiento análisis de varianza, PROC ANOVA. Las diferencias estadísticas entre medias se determinaron con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos de supervivencia se transformaron (St) con la función arco seno, por ser una variable binomial, conforme al siguiente modelo.

$$St = \arcsen(S)^{0.5} \quad [5]$$

donde: $\arcsen$: arco seno; S : supervivencia en tanto por uno.

La correlación de Pearson ($p \leq 0.10$) se calculó para cada una de las variables que diagnosticaron la calidad de planta (altura, diámetro al cuello de la raíz, pesos secos de vástago, de raíz, total, coeficiente de esbeltez, relación peso seco de vástago/raíz, índice de calidad Dickson y crecimiento potencial de la raíz) (variables independientes), con las variables obtenidas después de un año de la plantación (variables dependientes). Para la correlación entre variables de los árboles al momento de la plantación y a un año de la misma, se usó el procedimiento PROC CORR de SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fases de vivero y laboratorio

El análisis de comparación de medias no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las procedencias de *A. religiosa* en ninguna de las variables analizadas (índices morfológicos), al momento de establecer la plantación (Cuadro 1).

La falta de diferencias es consistente con los resultados de Benavides-Meza *et al.* (2011), quienes estudiaron el diámetro al cuello de la raíz y la altura de ocho procedencias de *A. religiosa* (entre ellas incluidas

Statistical analysis

In order to detect possible differences between the indicators of both provenances, we conducted an analysis of variance and a comparison of means test with the program SAS, v. 9.1[®]. In every analysis, we used the analysis of variance procedure, PROC ANOVA. We determined statistical differences between the means with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Since the variable is binomial, we transformed the survival data (St) with the arcsine function, according to the following model.

$$St = \arcsin(S)^{0.5} \quad [5]$$

where: $\arcsin$: arcsine; S : survival in parts per unit.

We calculated the Pearson correlation ($p \leq 0.10$) for each variable that diagnosed the plant quality (height, diameter at root collar; shoot, root, and total dry weight; slenderness coefficient, shoot to root ratio, Dickson quality index, and root growth potential) (independent variables), with the variables measured one year after the plantation (dependent variables). For the correlation between variables of the trees at the time of plantation and one year after, we used the procedure PROC CORR of SAS.

RESULTS AND DISCUSSION

Laboratory and nursery stages

The comparison of means analysis did not show significant differences ($p > 0.05$) between the provenances of *A. religiosa* in any of the variables analyzed (morphological characteristics) at the beginning of the plantation (Table 1).

This lack of differences is similar to the results of Benavides-Meza *et al.* (2011), who studied the diameter at root collar and the height of *A. religiosa* plants from eight provenances (including the ones in this study) in a 10-month nursery period. Millar (2001) pointed out that the genetic variability in the initial stage species is higher than in the climax species. According to Rzedowski and Rzedowski (2001), *A. religiosa* is one of the climax species in the temperate-wet regions of Mexico. Based on the later, it is possible that climax species like the sacred fir, which are demanding in environmental requirements, moisture and fresh and shaded environment for regeneration in this case, tend to present less genetic and phenotypic variability between populations than other more plastic species

Cuadro 1. Dimensiones iniciales y a un año de la plantación, de *A. religiosa* de dos procedencias.

Table 1. Dimensions, at the beginning and one year after the plantation, of *A. religiosa* from two provenances.

Variable	Procedencia						Media de ambas		
	Tlaxcala			Ciudad de México			Procedencias		
	Inicial	1 año	Inc.	Inicial	1 año	Inc.	Inicial	1 año	Inc.
d (mm)	4.6	4.9	0.3	4.4	5.1	0.7	4.5	5.0	0.5
a (cm)	30.0	40.9	10.9	28.3	41.9	13.6	29.2	41.4	12.3
psv (g)	3.4	5.7	2.3	3.1	6.9	3.8	3.3	6.3	3.1
psr (g)	2.3	2.8	0.5	2.7	2.6	0.0	2.5	2.7	0.2
pst (g)	6.1	8.2	2.1	5.8	9.6	3.8	6.0	8.9	3.0
E	6.6	-	-	6.6	-	-	6.6	-	-
A/R	1.4	-	-	1.3	-	-	1.4	-	-
D	0.8	-	-	0.8	-	-	0.8	-	-

d: diámetro al cuello de la raíz, a: altura, psv: peso seco de vástago, psr: peso seco de raíz, pst: peso seco total, E: coeficiente de esbeltez, A/R: relación peso seco de vástago/raíz, D: índice de Dickson. Inc.: incremento. No hubo diferencias significativas entre procedencias ($p > 0.05$). ♦ d: diameter at root collar, h: height, sdw: shoot dry weight, rdw: root dry weight, tdw: total dry weight, E: slenderness coefficient, S/R: shoot to root ratio, D: Dickson index. Inc.: increase. There was no significant differences between provenances ($p > 0.05$).

las del presente estudio) en un periodo de 10 meses en vivero. Millar (2001) señaló que la variabilidad genética entre poblaciones de una especie de etapas sucesionales iniciales, es mayor que entre poblaciones de una especie clímax. De acuerdo con Rzedowski y Rzedowski (2001), *A. religiosa* es una de las especies clímax en las regiones templado-húmedas de México. Con base en lo anterior, es posible que especies clímax como el oyamel, demandantes en requerimientos ambientales, en este caso de humedad y ambiente fresco y sombreado para la regeneración, tiendan a presentar menor variabilidad genética y fenotípica entre poblaciones que otras especies más plásticas ante tales factores limitativos, como muchas de las especies de pinos.

La altura media obtenida en ambas procedencias estuvo dentro del intervalo de las medias generales ante cuatro tratamientos de fertilización, referido por Navarro-Sandoval *et al.* (2013) para la misma especie (25.6 a 31.2 cm). El peso seco de vástago en ambas procedencias estuvo dentro del intervalo en dicha referencia (2.99 a 3.44 g), pero el peso seco de raíz fue superior en nuestro estudio (3.93 a 4.52 g), pues Navarro-Sandoval *et al.* (2013) registraron valores de 0.83 a 1.28 g para la misma especie.

Respecto a los índices de calidad y a los intervalos de las medias reportadas por Navarro-Sandoval *et al.* (2013), los valores de las dos procedencias quedan

en la presencia de such limitation factors, like many of the pine species.

The mean height from both provenances was in the general mean range observed with four fertilizing treatments, referred by Navarro-Sandoval *et al.* (2013) in the same species (25.6 to 31.2 cm). The shoot dry weight in both provenances lies between the range in this reference (2.99 to 3.44 g), but the root dry weight was superior in our study (3.93 to 4.52 g), Navarro-Sandoval *et al.* (2013) registered values from 0.83 to 1.28 g for the same species.

Regarding the quality indexes and the mean ranges reported by Navarro-Sandoval *et al.* (2013), the values from both provenances are included in the range of 6 to 7.2 for the slenderness coefficient, but in the shoot to root ratio they have a lower value; *i.e.*, a better proportion between the shoot and root dry weights. Also, the Dickson quality index exceeds the range from 0.37 a 0.53, which means that the plant in this study have good indicator values.

Greenhouse stage

In the root growth potential test, the number of new roots was 21.9 and 23.2, for the Mexico City and Tlaxcala provenances, respectively, and there were no statistical differences ($p > 0.05$). In both cases, the Tanaka root growth index was 4. This result is similar

dentro del intervalo de 6 a 7.2 para el coeficiente de esbeltez, pero en la relación peso seco vástago/raíz tienen un menor valor, es decir, una mejor proporción entre los pesos secos de vástago y raíz. Asimismo, el índice de calidad de Dickson supera el intervalo de 0.37 a 0.53, lo cual indica que la planta del presente estudio tiene buenos valores en todos los indicadores señalados.

Fase de invernadero

En la prueba de crecimiento potencial de raíz, el número de raíces nuevas fue 21.9 y 23.2, para las procedencias de Ciudad de México y Tlaxcala, respectivamente, sin diferencias entre sí ($p > 0.05$). En ambos casos el índice de crecimiento de raíz de Tanaka fue 4. Este resultado es similar al obtenido por Castillo-Flores *et al.* (2013), quienes encontraron que el lugar de procedencia no influye en la capacidad para producir raíces nuevas en estacas de *A. religiosa*.

Fase de plantación

El análisis estadístico de la supervivencia de la plantación de *A. religiosa* no exhibió diferencias significativas entre las procedencias estudiadas ($p > 0.05$), ni a los 6 meses de establecida la plantación (98.0 % y 100 % para las procedencias de Tlaxcala y Ciudad de México, respectivamente), ni al año de establecida (95.0 % y 97.5 % de supervivencia, en el mismo orden). En una investigación realizada con la misma especie por Mexal *et al.* (1998) en San Miguel Balderas, Estado de México, las supervivencias fueron 98, 78 y 15 %, a los cuatro, 10 y 26 meses del establecimiento de la plantación, respectivamente.

Las altas tasas de supervivencia en las etapas iniciales de crecimiento en las plantaciones, pueden residir en la cobertura arbórea y en un efecto temporalmente protector ante vientos desecantes y bajas temperaturas provisto por los zacates (gramíneas altas) en la zona de estudio. Lo anterior se constató con diversas especies de distintas regiones. Así, en Michoacán la supervivencia en plantaciones de *A. religiosa* se favoreció por el efecto nodriza de plantas del género *Lupinus* (Blanco-García *et al.*, 2011). Asimismo, Rodríguez-Trejo *et al.* (2003) definieron que el efecto nodriza de arbustos abate las condiciones desecantes y aumenta la supervivencia de *Pinus palustris* Mill. plantados en el sureste de los Estados Unidos. Se debe destacar que el zacate es un

to the one from Castillo-Flores *et al.* (2013), who found that the provenance does not affect the capacity to produce new roots in cuttings of *A. religiosa*.

Plantation stage

The statistical analysis of the survival of the plantation of *A. religiosa* did not show significant differences between the studied provenances ($p > 0.05$), neither after 6 months of the plantation establishment (98.0 % and 100 % for the provenances of Tlaxcala and Mexico City, respectively), nor after one year of establishment (95.0 % and 97.5 % of survival, in the same order). Research with the same species by Mexal *et al.* (1998) in San Miguel Balderas, Estado de Mexico, survivals were 98, 78, and 15 %, four, 10, and 26 months after the plantation establishment, respectively.

The tree cover and the temporally protective effect against drying winds and low temperatures provided by the pastures (tall grasses) in the area of study, might explain the high survival rates during the initial growth stages of the plantation. The later was verified with diverse species from different regions. Thus, in Michoacan, the survival of plantations of *A. religiosa* was favored by the nurse plant effect of the genus *Lupinus* (Blanco-García *et al.*, 2011). Also, Rodríguez-Trejo *et al.* (2003) defined that the nurse plant effect of bushes lowers the drying conditions and increases the survival of *Pinus palustris* Mill. planted in the southeastern United States. It must be noted that grass is a strong competitor, as it gains cover in the clean area, it reduces the growth and subsequently generates mortality, as Rodríguez-Trejo (2008) indicated, which is why it is crucial to control its competition.

One year after planting the seedlings, we still did not find differences in increase for the morphological variables studied (Table 1). The mean percentage increase between both provenances was: 11.1 % for the diameter at root collar, 42.1 % in height, 94 % in shoot dry weight, 8 % in root dry weight, and 50 % in total dry weight.

In this study, we found a scarce correlation between the survival with the variables that diagnosed the seedling quality. Besides the high survival, it is possible that the probable low genetic variability between populations, associated to advanced successional species, like *A. religiosa*, and which in turn may imply less variability in the seedlings dimensions,

fuerte competidor, conforme gana cobertura en el área chaponeada, reduce el crecimiento y subsecuentemente origina mortalidad, como señaló Rodríguez-Trejo (2008), por lo que su competencia debe ser controlada.

Después de un año de haber plantado los brinzales, tampoco se hallaron diferencias en incremento para las variables morfológicas estudiadas (Cuadro 1). El aumento medio porcentual entre ambas procedencias fue: 11.1 % para diámetro al cuello de la raíz, 42.1 % en altura, 94 % en peso seco de vástago, 8 % en peso seco de raíz, y 50 % en peso seco total.

En esta investigación se encontró escasa correlación entre la supervivencia con las variables que diagnosticaron la calidad de planta. Además de la elevada supervivencia, es posible que la probable variabilidad genética menor entre poblaciones, asociable a especies avanzadas sucesionalmente como *A. religiosa*, y que a su vez puede implicar menor variabilidad en las dimensiones de los brinzales, haga menos posible hallar relación entre los caracteres morfológicos al momento de la plantación y la supervivencia después de un año. Sin embargo, sí se hallaron correlaciones entre las variables que describen el desempeño e incremento inicial en las dos procedencias estudiadas (Cuadro 2). Para la procedencia de Ciudad de México se detectaron siete correlaciones y el diámetro al cuello de la raíz en vivero fue la variable que mostró mayor número de correlaciones: diámetro al cuello de la raíz, peso seco del vástago y peso seco de la raíz, todas evaluadas después de un año del establecimiento de la plantación. Es decir, a mayor diámetro al cuello de la raíz en los brinzales al momento de plantar, un año después se tendrán plantas más grandes. Asimismo, a mayor número de raíces nuevas en la prueba de crecimiento potencial de raíz, se logrará un mayor incremento en peso seco de raíz.

makes more difficult to find a relation between the morphological characteristics at the time of plantation and the survival after one year. However, we did find correlations between the variables that describe the initial performance and increase in the two studied provenances (Table 2). In the Mexico City provenance, we detected seven correlations and the diameter at root collar in the nursery was the variable that showed the highest number of correlations: diameter at root collar, shoot dry weight and root dry weight, all evaluated one year after the plantation's establishment. Thus, the seedlings with a greater diameter at root collar at the moment of planting will generate bigger plants one year later. Also, with higher numbers of new roots in the root growth potential test, the increase in the root dry weight will be higher.

The plants from La Soledad, Tlaxcala, showed four positive correlations (Table 3). We observed the increase in the root dry weight one year after the plantation in all of them.

The variable with a higher number of correlations for the Mexico City provenance was the diameter at root collar in the nursery. About this, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016) mentioned that the diameter at root collar is a good indicator of the production of shoot and root dry weights. Numerous studies in different species show that the diameter at root collar is the best indicator of the plantation performance, and thus, of the seedling quality (Ritchie *et al.*, 2010).

According to Hines and Long (1986), in *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. plants produced in containers, established in elevated sites from Utah, with different stem diameters, the survival after two growing seasons showed a strong correlation with the initial stem diameter. We used this information to

Cuadro 2. Correlaciones de las variables evaluadas en plantas de *A. religiosa* procedentes de Ciudad de México.

Table 2. Correlations of variables evaluated in *A. religiosa* plants from Mexico City.

Variables		R	P
Al plantar	Después de 1 año		
Diámetro al cuello de la raíz	Diámetro al cuello de la raíz	0.945	0.055
	Peso seco del vástago	0.920	0.080
	Peso seco de raíz	0.917	0.083
Peso seco del vástago	Diámetro al cuello de la raíz	0.905	0.095
Peso seco vástago/raíz	Peso seco del vástago	0.995	0.005
	Peso seco de raíz	0.998	0.002
No. de raíces nuevas ≥ 1 cm	Incremento en peso seco de raíz	0.930	0.070

Las plantas procedentes de La Soledad, Tlaxcala, mostraron cuatro correlaciones positivas (Cuadro 3). El aumento en peso seco de la raíz a un año de la plantación se presentó en todas ellas.

La variable con mayor número de correlaciones para la procedencia Ciudad de México, fue el diámetro al cuello de la raíz en vivero. Al respecto, Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016) mencionaron que el diámetro al cuello de la raíz es un buen indicador de la producción de peso seco del vástago y de la raíz. Numerosos estudios en distintas especies muestran que el diámetro del tallo es el mejor predictor del desempeño de la plantación, y por lo tanto, de la calidad de la planta (Ritchie *et al.*, 2010).

Según Hines y Long (1986), en plantas de *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. producidas en contenedor, que se establecieron en sitios elevados de Utah, con diferentes diámetros de tallo, la supervivencia después de dos estaciones de crecimiento tuvo una fuerte correlación con el diámetro inicial del tallo. Esta información se usó para desarrollar estándares de calidad. En ese caso, las plantas con diámetros de tallo ≥ 2.5 mm fueron elegibles, no así aquellas con un diámetro menor. En el vivero San Luis Tlaxiatalmalco, el estándar establecido en diámetro al cuello de la raíz para *A. religiosa* es ≥ 3 mm, lo cual se rebasó en nuestro estudio (Cuadro 1).

Bautista-Zarco *et al.* (2005) encontraron que diámetros del tallo de mayor magnitud fueron directamente proporcionales con la supervivencia en campo en *Pinus montezumae* Lamb., por lo cual concluyeron que esta variable es un excelente criterio para evaluar la calidad de los brinzales. Lo anterior parece confirmar las conclusiones aportadas por autores que indican que plantas grandes tienden a tener mejor desempeño en campo que las pequeñas (Rodríguez-Trejo, 2008; Rueda-Sánchez *et al.*, 2012). Dichas conclusiones no se pudieron contrastar en la presente investigación,

develop quality standards. In such research, the plants with stem diameters ≥ 2.5 mm were eligible, and those with a smaller diameter were excluded. In the San Luis Tlaxiatalmalco nursery, the established standard diameter at root collar for *A. religiosa* is ≥ 3 mm, which was exceeded in our study (Table 1).

Bautista-Zarco *et al.* (2005) found that bigger stem diameters were directly proportional to the survival of *Pinus montezumae* Lamb. in the field site; therefore, they concluded that this variable is an excellent criterium to evaluate the seedling quality. The latter would confirm the conclusions from authors that indicate that bigger plants seem to perform better in the field than the smaller ones (Rodríguez-Trejo, 2008; Rueda-Sánchez *et al.*, 2012). In this research, we did not corroborate these conclusions, since there were no differences in the variable categories, morphological indexes, and performance during the seedling quality evaluation from the two studied provenances and given that the plantation survival after one year was ≥ 95 %.

The shoot to root ratio is directly proportional to the root dry weight one year after the plantation, this index presents the more significant correlation in the seedlings from Mexico City, with a R of 0.99, which means that a higher index (higher shoot dry weight) yielded more root dry weight after one year. The latter agrees with Ritchie *et al.* (2010), who stated that a plant could only develop new roots in the test environment when foliage is abundant for photosynthesis.

The best shoot to root ratio indexes were low, which demonstrates an abundant root, critical for survival, especially in environments with humidity or nutrient or both limitations (Ritchie *et al.*, 2010). The environment in Santa Ana (Mexico City) has no limitations regarding precipitation or soil, which influenced the survival of 97.5 %.

Cuadro 3. Correlaciones de las variables evaluadas en plantas de *A. religiosa* procedentes de Tlaxcala.

Table 3. Correlations of variables evaluated in *A. religiosa* plants from Tlaxcala.

Variables		R	P
Al plantar	Después de 1 año		
Peso seco del vástago	Incremento en peso seco de raíz	0.970	0.030
Peso seco de raíz	Incremento en peso seco de raíz	0.965	0.035
Peso seco total	Incremento en peso seco de raíz	0.996	0.003
Índice de calidad de Dickson	Incremento en peso seco de raíz	0.997	0.004

debido a que no hubo una diferenciación en categorías de las variables e índices morfológicos y de desempeño al realizar el diagnóstico de calidad de planta de las dos procedencias estudiadas y porque la supervivencia de la plantación a un año fue $\geq 95\%$.

El indicador peso seco del vástago/raíz es directamente proporcional con el peso seco de raíz un año después de la plantación, dicho índice presenta la mayor correlación para los brinzales procedentes de Ciudad de México, con una R de 0.99. Esto indica que un índice más grande (mayor peso seco del vástago) tuvo mayor producción de peso seco de raíz después de un año. Lo anterior concuerda con Ritchie *et al.* (2010), quienes señalaron que una planta sólo puede desarrollar nuevas raíces en el ambiente de prueba, cuando existe abundancia de follaje, para que se realice la fotosíntesis.

Los mejores índices relación peso seco de vástago/raíz son bajos, denotan una abundante raíz, la cual es crucial para la supervivencia, en particular en ambientes con limitaciones de humedad o nutrimentos o ambos (Ritchie *et al.*, 2010). El ambiente en Santa Ana (Ciudad de México) no es limitativo en precipitación ni suelo, lo que influyó para obtener una supervivencia de 97.5 %.

La relación peso seco del vástago/raíz presenta la ventaja de un mayor valor interpretativo por su relación con el balance hídrico de la planta (Lamhamedi *et al.*, 1998), lo cual puede ser particularmente importante en climas secos (Lloret *et al.*, 1999). En muchas especies se han encontrado resultados que relacionan este índice con la respuesta inicial en plantación, en planta producida a raíz desnuda, pero su utilidad como atributo de evaluación de calidad de planta cultivada en contenedor también se ha cuestionado (Bernier *et al.*, 1995).

De las cuatro correlaciones positivas detectadas para las plantas procedentes de Tlaxcala, la mayor es la del índice de calidad de Dickson, el cual es directamente proporcional con el incremento en peso seco de raíz después de un año. Navarro *et al.* (2001) aseveraron que el índice de calidad de Dickson es quizá el índice morfológico de mayor carácter predictivo, al integrar varios atributos morfológicos. Así mismo, Dickson *et al.* (1960) sugirieron que a mayor valor del índice mejor calidad de planta, pero es importante destacar que en nuestra investigación dicho índice de calidad no fue influenciado por la procedencia de la semilla en la producción de *A. religiosa*.

The shoot to root ratio presents a higher interpretative value due to its association with the plant water balance (Lamhamedi *et al.*, 1998), which can be particularly important in dry climates (Lloret *et al.*, 1999). Different results from numerous species have shown a correlation between this index and the initial plantation response in bare-root production plants, but its use as an attribute to evaluate the seedling quality of plants grown on container has also been questioned (Bernier *et al.*, 1995).

Of the four positive correlations found in the plants from Tlaxcala, the biggest one is the Dickson quality index, which is directly proportional to the increase in root dry weight after one year. Navarro *et al.* (2001) concluded that the Dickson quality index is probably the morphological index with greater predictive capacity, as it integrates different morphological attributes. Also, Dickson *et al.* (1960) suggested that the higher the value of the index, the better the quality of the plant, but it is important to mention that in our study this quality index was not influenced by the seed provenance in the production of *A. religiosa*.

CONCLUSIONS

The evaluated seedling quality morphological indicators and their values in the present study, allow us to predict an elevated survival of the sacred fires planted in the conditions of Santa Ana Tlacotenco, Mexico City. The result of 22 new roots in the root growth potential test, predicted a high survival in the field site.

For the Mexico City provenance, the diameter at root collar during the plantation is a good predictor of the shoot and root diameters and the dry weights after one year. For the Tlaxcala provenance, the root, shoot, and total dry weights, as well as the Dickson index, were good predictors of the increase in root dry weight.

There were no differences in the seedling quality between both provenances; thus, both are convenient to obtain the seed from and produce plants for their use in the area of Santa Ana Tlacotenco.

—End of the English version—



CONCLUSIONES

Los indicadores morfológicos de calidad de planta probados y sus valores obtenidos en el presente estudio, permiten predecir una alta supervivencia de los oyameles plantados en las condiciones de Santa Ana Tlacotenco, Ciudad de México. El resultado de 22 raíces nuevas en la prueba de crecimiento potencial de raíz, predijo alta supervivencia en campo.

Para la procedencia Ciudad de México, el diámetro al cuello de la raíz al momento de plantar, es un buen predictor del diámetro y los pesos secos de vástago y raíz un año más tarde. De la procedencia Tlaxcala destaca que sus pesos secos de vástago, de raíz, total y el índice de Dickson, fueron buenos predictores del incremento en peso seco de raíz.

No hubo diferencias en la calidad de la planta entre las dos procedencias evaluadas, por lo cual ambas son convenientes para obtener semilla y producir planta para utilizar en la zona de Santa Ana Tlacotenco.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México y a la Universidad Autónoma Chapingo, por apoyos logístico, de planta y financiero para la realización del presente proyecto de investigación. A Ramón Hernández Correa (q.e.p.d.), por su ayuda para instalar el experimento de plantación.

LITERATURA CITADA

- Aguilera-Rodríguez, M., A. Aldrete, T. Martínez-Trinidad, y V. M. Ordáz-Chaparro. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.
- Bautista-Zarco, N., V. M. Cetina-Alcalá, J. G. A. Vera-Castillo, y C. T. Cervantes-Martínez. 2005. Evaluación de la calidad de brinzales de *Pinus montezumae* Lamb. *Ra Ximhai* 1: 167-176.
- Benavides-Meza, H. M., M. O. Gazca-Guzmán, S. F. López-López, F. Camacho-Morfin, D. Y. Fernández-Grandizo, M. P. de la Garza-Lopez de Lara, y F. Nepomuceno-Martínez. 2011. Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. *et Cham.*, en condiciones de vivero. *Madera y Bosques* 17: 83-102.
- Bernier, P. Y., M. S. Lamhamedi, and D. G. Simpson. 1995. Shoot:root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters' Notes* 46: 102-106.
- Blanco-García, A., C. Sáenz-Romero, C. Martorell, P. Alvarado-Sosa, and R. Lindig-Cisneros. 2011. Nurse-plant and mulching effects on three conifer species in a Mexican temperate forest. *Ecol. Engineering* 37: 994-998.
- Castillo-Flores, J. D., M. Á. López-López, J. López-Upton, V. M. Cetina-Alcalá, y T. Hernández-Tejeda. 2013. Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. *et Cham.* *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19: 175-184.
- Cuevas-Guzmán, R., L. M. Martínez-Rivera, A. Cisneros-Lepe, E. V. Sánchez-Rodríguez, y L. Guzmán-Hernández. 2008. Ordenación y clasificación de los oyameles del estado de Jalisco, México. *In: Sánchez-Velázquez, L. R., J. Galindo-González, y F. Díaz-Fleischer (eds). Ecología, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Montaña en México.* México. CONABIO, Universidad Veracruzana, Labioteca, Mundi Prensa. pp: 211-227.
- Dickson, A., A. L. Leaf, and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36: 10-13. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/index.html> (Consulta: febrero 2018).
- Ezcurra, E. 2010. De las Chinampas a las Megápolis. México. F.C.E. 120 p.
- Hines, F. D., and J. N. Long. 1986. First and second-year survival of containerized Engelmann spruce in relation to initial seedling size. *Can. J. For. Res.* 16: 668-670.
- Lamhamedi, S., P. Bernier, C. Hébert, and R. Jobidon. 1998. Physiological and growth responses of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings outplanted with and without vegetation control. *For. Ecol. Manage.* 110: 13-23.
- Lloret, F., C. Casanovas, and J. Peñuelas. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecol.* 13: 210-216.
- Mexal, J. G., R. A. Cuevas, and T. D. Landis. 1998. Reforestation success in central Mexico: factors determining survival and early growth. *Tree Planters' Notes* 53: 16-22.
- Millar, C. I. 2001. Genetic diversity. *In: Hunter, M. L. (ed). Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems.* Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press. pp: 460-494.
- Moreno-Chávez, L. R., M. Á. López-López, E. Estañol-Botello, y A. Velázquez-Martínez. 2002. Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. *et Cham.* en vivero mediante el DRIS. *Madera y Bosques* 8: 51-60.
- Navarro, R. M., M. J. Retamosa, J. López, y F. Sánchez. 2001. Caracterización de calidad final de brinzales de pinsapo (*Abies pinsapo* Boiss.) en el vivero de la cueva del agua (Málaga). Universidad de Córdoba-Consejería de Medio Ambiente. Informe final. URL: <http://www.seeforestales.org/buscador/pdf/3CFE02-128.pdf> (Consulta: septiembre 2013).
- Navarro-Sandoval, J. L., J. J. Vargas-Hernández, A. Gómez-Guerrero, L. M. Ruíz-Posadas, y P. Sánchez-García. 2013. Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia* 47: 707-721.
- 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.* USDA-For. Service. Washington, DC. USA. pp: 17-81.
- Rodríguez-Trejo, D. A. 2008. Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi Prensa. México, D.F. 156 p.

- Rodríguez-Trejo, D. A., M. L. Duryea, T. L. White, J. R. English, and J. McGuire. 2003. Artificially regenerating longleaf pine in canopy gaps: initial survival and growth during a year of drought. *For. Ecol. Manage.* 180: 25-36.
- Rueda-Sánchez, A., J. de D. Benavides-Solorio, J. Á. Prieto-Ruiz, J. T. Sáenz-Reyes, G. Orozco-Gutiérrez, y A. Molina-Castañeda. 2012. Calidad de planta en los viveros forestales de Jalisco. *Rev. Mex. Ciencias For.* 3: 69-82.
- Rzedowski, G. C. de, y J. Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*. Pátzcuaro, México. Instituto de Ecología A. C., Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1406 p.
- Tanaka, Y., P. Brotherton, S. Hostetter, D. Chapman, S. Dyce, J. Belanger, B. Johnson, and S. Duke. 1997. The operational planting stock quality-testing program at Weyerhaeuser. *New For.* 13: 423-437.
- Zamora M., M. C. 2015. Producción de árboles de navidad. *Rev. Mex. Ciencias For.* 32: 2-4.

