

FACTORES DE INFLUENCIA EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham

INFLUENCE FACTORS IN ROOTING OF CUTTINGS OF *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham

J. Daniel Castillo-Flores¹; Miguel A. López-López¹; Javier López-Upton¹; Víctor M. Cetina-Alcalá¹; Tomás Hernández-Tejeda²

¹Postgrado Forestal, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México- Texcoco, C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, México.

Correo-e: castillo.jesus@colpos.mx; danniel@ciencias.unam.mx (Autor para correspondencia).

²CENID-COMEF, INIFAP, Progreso núm. 5, del. Coyoacán, C. P. 04010, Distrito Federal, México.

RESUMEN

La declinación forestal en el Desierto de los Leones, D. F. afecta a *Abies religiosa*, una de las especies dominantes en la región con difícil capacidad de enraizamiento que requiere propagación en la zona. En el presente estudio se desarrolló un método de propagación vegetativa con el fin de determinar si el efecto de la procedencia, edad del material, tipo de hormona y la presencia de síntomas de declinación, influyen en la capacidad de enraizamiento de estacas de dicha especie. En este experimento se utilizó un sustrato compuesto por turba y agrolita para probar estacas de dos procedencias, con y sin síntomas de declinación, generadas en dos estaciones de crecimiento, y dos auxinas, manteniendo una humedad de 75-80 %. La combinación de estos factores produjo 16 tratamientos, los cuales se repitieron 50 veces. Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza factorial. Los resultados indican que a principios de diciembre es la mejor época de recolecta de material vegetal para enraizamiento de estacas de *A. religiosa*, siendo las estacas más jóvenes y las que recibieron indol-3-butírico las que mejor enraizaron. La procedencia y la sintomatología no tuvieron efecto en el enraizamiento.

PALABRAS CLAVE: Propagación vegetativa, procedencia, auxinas, edad de estaca, ácido indol-3-butírico, ácido naftalenacético.

ABSTRACT

Forest decline in Desierto de los Leones National Park in Mexico City affects *Abies religiosa*, a dominant and hard-to-root species in the region. As a result of this decline, the species requires propagation in the region through rooting of cuttings. In this study, a method of vegetative production was developed to determine whether the effect of origin, age of the material, type of hormone used and the presence of decline symptoms affect the rooting capacity of cuttings of this species. Three experiments were conducted, and only the third one produced rooting of cuttings. In this experiment, a substrate composed of peat moss and perlite was used to test rooting of cuttings of two origins, with and without symptoms, generated in two growing seasons and using two auxins (indol-butyric acid and naphthalene acetic acid), keeping the soil moisture between 75-80 %. The combination of these factors produced 16 treatments, which were replicated 50 times. Data were processed by factorial analysis of variance. Results indicate that early December is the best time to collect plant material for rooting of *A. religiosa* cuttings, as they are the youngest, and that those that received indol-butyric acid rooted the best. Origin and decline symptoms had no effect on rooting.

KEYWORDS: Vegetative propagation, origin, auxins, age of cutting, indol-3-butyric acid, naphthaleneacetic acid.



Recibido: 14 de junio de 2011
Aceptado: 06 de marzo de 2013
doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.06.038
<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

El síndrome de declinación forestal es una de las afectaciones más recurrentes a nivel mundial que han acabado con áreas boscosas de importancia ecológica, ambiental y recreativa para la humanidad (Alvarado & Hernández-Tejeda, 2002; Hernández & De Bauer, 1989). Algunas características de este síndrome son clorosis, pigmentación café rojiza en el haz de las hojas de mayor edad, senescencia foliar prematura (Alvarado, De Bauer, & Galindo, 1993; Hernández-Tejeda & De Bauer, 1984) y reducción del diámetro (Watmough & Hutchinson, 1999), además de provocar una pobre regeneración natural. En México, el Parque Nacional Desierto de los Leones (PNDL) es uno de los lugares donde se presenta este fenómeno y donde *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham es la especie dominante. A pesar de los distintos esfuerzos realizados para preservar la vegetación nativa de este parque, hasta el momento, no se ha obtenido algún resultado satisfactorio. Aunado a esto, *A. religiosa* está siendo reemplazado artificialmente por otras especies como *Pinus ayacahuite* Ehrenberg debido al éxito que esta especie ha tenido para adaptarse a las condiciones actuales de la zona. Sin embargo, aún existen bosques circundantes a la Ciudad de México que presentan condiciones parecidas a las que prevalecen en el PNDL. Un ejemplo es el cerro Tlaloc que se encuentra a 30 km al noreste del Distrito Federal (González, 2005), donde se han detectado superficies afectadas por el fenómeno de declinación.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar si el efecto de la procedencia, la edad del material, el tipo de hormona, así como la presencia de síntomas de declinación, influyen en la capacidad de enraizamiento de estacas de *A. religiosa*. En virtud de la nula producción de semilla local, la práctica de propagación vegetativa mediante estacas puede ayudar en los programas de reforestación con material genético resistente al fenómeno de declinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayos de enraizamiento

En los meses de febrero y junio de 2009 se establecieron ensayos de enraizamiento con estacas de *A. religiosa*, los cuales no prosperaron, debido presumiblemente a que las condiciones climáticas no fueron favorables ya que se generaron hongos tanto en el sustrato como en las estacas.

Durante el mes de diciembre se estableció un tercer experimento de enraizamiento, recolectándose estacas de *A. religiosa* en el PNDL (19° 18' 19" N y 99° 18' 19" O) y en el cerro Tlaloc (19° 26' 25" N y 98° 44' 21" O). Dicho material procedente de árboles visiblemente jóvenes, de entre cinco y siete años de edad, fue desinfectado con una solución de agua con hipoclorito de sodio durante 5 min (4 mL de cloralex por cada 20 L de agua) antes de ser colocado en la cámara de enraizamiento. El sustrato consistió en cuatro capas: las tres capas de abajo fueron de tezontle rojo, de las

INTRODUCTION

Forest decline syndrome is one of the most recurrent afflictions worldwide that have destroyed forest areas of ecological, environmental and recreational importance for humanity (Alvarado & Hernández-Tejeda, 2002; Hernández & De Bauer, 1989). Characteristics of this syndrome include chlorosis, reddish brown coloration on the surface of older leaves, premature leaf senescence (Alvarado, Bauer, & Galindo, 1993; Hernández-Tejeda & Bauer, 1984) and reduced trunk diameter (Watmough & Hutchinson, 1999), in addition to causing poor natural regeneration. In Mexico, Desierto de los Leones National Park (DLNP) is one of the places where this phenomenon occurs and where *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham is the dominant species. Despite the various efforts made to preserve the native vegetation of this park, so far, a satisfactory result has not been obtained. In addition, *A. religiosa* is being artificially replaced by other species such as *Pinus ayacahuite* Ehrenberg due to the success that this species has had adapting to the current conditions in the area. However, there are still forests surrounding Mexico City where conditions are similar to those prevailing in DLNP. One such place is Mount Tlaloc, located 30 km northeast of Mexico City (González, 2005), where areas affected by the decline phenomenon have been detected.

This study aimed to determine whether the effect of origin, the age of the material, the type of hormone and the presence of decline symptoms influence the rooting ability of *A. religiosa* cuttings. Due to the complete absence of local seed production, the practice of vegetative propagation by cuttings can help in reforestation programs with decline-resistant genetic material.

MATERIALS AND METHODS

Rooting trials

In February and June 2009, rooting trials were established with *A. religiosa* cuttings, which were unsuccessful, presumably because the weather conditions were not favorable since fungi were generated in both the substrate and the cuttings.

In December, a third rooting experiment was conducted. In it, *A. religiosa* cuttings were collected in DLNP (19° 18' 19" N and 99° 18' 19" W) and on Mount Tlaloc (19° 26' 25" N and 98° 44' 21" W). This material came from visibly young trees, ranging from five to seven years old. It was disinfected with a water solution with sodium hypochlorite for 5 min (4 mL bleach per 20 L of water) before being placed in a rooting chamber. The substrate consisted of four layers; the three lower layers were made up of red tezontle (volcanic rock), of which the bottom one had the thickest texture and the top one the finest. Following this, a mixed layer of peat moss (20 %) and perlite (80 %) was placed on top and the cuttings were established in it, keeping 75-80 % moisture in the substrate. Both the tezontle and the substrate were

cuales, la inferior fue la de textura más gruesa y la superior la de textura más fina. Seguido de esto, se colocó la capa de mezcla de turba (20 %) y agrolita (80 %) en la que se establecieron las estacas manteniendo una humedad en el sustrato de 75-80 %. Tanto el tezontle como el sustrato fueron esterilizados en una olla de presión antes de ser introducidos en la cámara de enraizamiento. Se utilizaron estacas con y sin síntomas de declinación, generadas en dos estaciones de crecimiento (2008 y 2009). La especie *A. religiosa* genera sólo un flujo de crecimiento por año. En la base de las estacas recolectadas se practicaron tres heridas. Se utilizaron dos productos comerciales con hormonas vegetales: Rádix 10,000 (ácido indol-3-butírico [10,000 ppm]) (Intercontinental Import Export S. A. de C. V., México) y Rooter QF (Ácido indolbutírico [0.3 %], ácido naftalenacético [0.6 %], derivados del complejo vitamínico B [0.66 %], concentrado de ácidos fúlvicos [3.0 %] y metil 1-butilcarbamoil [0.2 %]) (Química Foliar S. A. de C. V., México) (Cuadro 1). La combinación de los niveles de todos estos factores produjo un total de 16 tratamientos, los cuales se repitieron 50 veces (estacas).

sterilized in a pressure cooker before being introduced into the rooting chamber. Cuttings with and without decline symptoms, generated in two growing seasons (2008 and 2009), were used. The species *A. religiosa* generates only one growth flush per year. At the base of the cuttings collected, three wounds were made. Two commercial products with plant hormones were used: Radix 10,000 (indol-butyric acid [10,000 ppm]) (Intercontinental Import Export SA de CV, Mexico) and Rooter QF (indol-butyric acid [0.3 %], naphthaleneacetic acid [0.6 %], derivatives of vitamin B complex [0.66 %], fulvic acid concentrate [3.0 %] and methyl 1-butyl-carbamoyl [0.2 %]) (Química Foliar S. A. de C. V., Mexico) (Table 1). The combination of the levels of all these factors produced a total of 16 treatments, which were replicated 50 times (cuttings).

In late February 2010, the presence of a fungus was detected in the substrate. For control, the substrate was completely changed for a new one, which was sterilized previously. The cuttings were disinfected in a water solution with bleach (4 mL bleach

CUADRO 1. Factores y niveles probados para el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa*.

Factores	Procedencia	Síntomas de declinación	Hormona	Año de producción de estaca
Niveles	Parque Nacional Desierto de los Leones	Con	Rádix 10,000	2008
	Tláloc	Sin	Rooter QF	2009

TABLE 1. Factors and levels tested for rooting of *Abies religiosa* cuttings.

Factors	Origin	Decline symptoms	Hormone	Cutting production year
Levels	Desierto de los Leones National Park	With	Radix 10,000	2008
	Tlaloc	Without	Rooter QF	2009

CUADRO 2. Porcentaje de enraizamiento de *Abies religiosa* por tratamiento en el mes de julio.

Procedencia	Tratamiento	Síntomas de declinación	Hormona	Año	Núm. de estacas enraizadas	Enraizamiento (%)
CT	1	Con	Rádix	2008	0	0.000
CT	2	Con	Rádix	2009	9	1.125
CT	3	Sin	Rádix	2008	0	0.000
CT	4	Sin	Rádix	2009	9	1.125
CT	5	Con	Rooter	2008	0	0.000
CT	6	Con	Rooter	2009	3	0.375
CT	7	Sin	Rooter	2008	2	0.250
CT	8	Sin	Rooter	2009	2	0.250
PNDL	9	Con	Rádix	2008	2	0.250
PNDL	10	Con	Rádix	2009	10	1.250
PNDL	11	Sin	Rádix	2008	0	0.000
PNDL	12	Sin	Rádix	2009	5	0.625
PNDL	13	Con	Rooter	2008	0	0.000
PNDL	14	Con	Rooter	2009	0	0.000
PNDL	15	Sin	Rooter	2008	2	0.250
PNDL	16	Sin	Rooter	2009	1	0.125
Total					45	5.625

CT = Cerro Tláloc, PNDL= Parque Nacional Desierto de los Leones, Rádix = Rádix 10,000 Rooter = Rooter QF.

TABLE 2. Rooting percentage of *Abies religiosa* by treatment in July.

Origin	Treatment	Decline symptoms	Hormone	Year	No. of rooted cuttings	Rooting (%)
MT	1	With	Rádix	2008	0	0.000
MT	2	With	Rádix	2009	9	1.125
MT	3	Without	Rádix	2008	0	0.000
MT	4	Without	Rádix	2009	9	1.125
MT	5	With	Rooter	2008	0	0.000
MT	6	With	Rooter	2009	3	0.375
MT	7	Without	Rooter	2008	2	0.250
MT	8	Without	Rooter	2009	2	0.250
DLNP	9	With	Rádix	2008	2	0.250
DLNP	10	With	Rádix	2009	10	1.250
DLNP	11	Without	Rádix	2008	0	0.000
DLNP	12	Without	Rádix	2009	5	0.625
DLNP	13	With	Rooter	2008	0	0.000
DLNP	14	With	Rooter	2009	0	0.000
DLNP	15	Without	Rooter	2008	2	0.250
DLNP	16	Without	Rooter	2009	1	0.125
Total					45	5.625

MT = Mount Tlaloc, DLNP= Desierto de los Leones National Park, Radix = Radix 10,000 Rooter = Rooter QF.

A finales del mes de febrero de 2010, en el sustrato se detectó la presencia de un hongo. Para su control, el sustrato fue cambiado totalmente por uno nuevo, esterilizándolo previamente. Las estacas se desinfectaron en una solución de agua con cloro (4 mL de cloralex por cada 20 L de agua) procediendo a aplicarles nuevamente el tipo de hormona correspondiente al tratamiento, siendo colocadas en el mismo orden que se tuvo al principio. Para evitar la propagación de hongos se aplicó Captan (BRAVOAG, México) cada 15 días (1g:1L) y a partir del mes de abril el riego se aplicó una vez por semana, además de seguir monitoreando la humedad y la temperatura del sustrato.

En el mes de mayo se realizó una revisión de las estacas enraizadas, haciéndose una primera medición de las raíces y de los brotes nuevos aéreos que habían emergido. A finales del mes de julio se realizó una nueva revisión de las estacas para tener una segunda medición, creando con esta información una base de datos. La longitud total de raíces se midió con una hoja de papel milimétrico en la cual se fue midiendo y sumando la longitud de cada una de ellas. También se contó el número de raíces desarrolladas en cada estaca y la longitud de brotes aéreos fueron medidos en cada una de éstas. Después de la última evaluación de los efectos de los tratamientos, las estacas enraizadas fueron colocadas en tubetes con un sustrato compuesto por suelo (50 %) y agrolita (50 %), y micorrizadas con MycorTree Inyectable (PHCMéxico, USA), el cual contiene esporas de los hongos ectomicorrízicos *Pisolithus tinctorius* y *Sclerotinia citrinum*, así como rizobacterias, ácidos húmicos y nutrimentos microbianos.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS para definir la relación que se genera entre las estacas enraizadas y el tipo de tratamiento al que habían sido sometidas. Las pruebas estadísticas realizadas fueron análisis de

per 20 L of water) and then the type of hormone corresponding to each treatment was once again applied to them, following the same order that was used at the beginning. To prevent the spread of fungi, Captan (BRAVOAG, Mexico) was applied every 15 days (1g:1L) and from April onwards irrigation was applied once a week, in addition to continuing to monitor substrate moisture and temperature.

In May there was a review of the rooted cuttings, making a first measurement of the roots and new aerial shoots that had emerged. In late July there was another review of the cuttings for a second measurement, thereby creating a database with this information. Total root length was measured with a sheet of graph paper with which the length of each one of them was measured and added. In addition, the number of roots that developed in each cutting was counted and the length of aerial shoots was measured in each one. After the last evaluation of the effects of the treatments, the rooted cuttings were placed in single-cell containers with a substrate composed of soil (50 %) and perlite (50 %), and mycorrhized with MycorTree injectable (PHCMexico, USA), which contains spores of the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus tinctorius* and *Sclerotinia citrinum*, as well as rhizobacteria, humic acids and microbial nutrients.

Statistical analysis

Data were analyzed with SAS statistical software to define the relationship generated between rooted cuttings and the type of treatment to which they had been subjected. The statistical tests performed were factorial analysis of variance and Tukey's test ($P = 0.05$) for comparison of means.

RESULTS AND DISCUSSION

Rooting time

According to the results, the best time to collect *A. religiosa* cuttings for rooting is in early December because at other

varianza factorial y pruebas de Tukey ($P = 0.05$) para comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Época de enraizamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos, la mejor época de recolecta de estacas de *A. religiosa* para enraizamiento es a principios de diciembre pues en otras fechas las condiciones climáticas no favorecen el desarrollo de raíces y promueven el ataque de hongos. Este factor puede ser considerado como el principal inconveniente para lograr el enraizamiento de estacas de la especie. Dichos resultados coinciden con los encontrados por Navarrete y Vargas (2005) en *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Estos autores mencionan que, posiblemente, la respuesta encontrada puede estar asociada con las condiciones fisiológicas del material vegetal utilizado y con las ambientales presentes al momento de establecer el experimento.

Análisis general de los efectos de los factores ensayados

Tipo de hormona. Las variables de respuesta tanto en la evaluación de mayo como en la de julio, excepto la longitud de brotes aéreos de mayo, fueron afectadas significativamente por el tipo de hormonas vegetales probadas (Cuadro 3). En todas las variables de respuesta evaluadas tanto en mayo como en julio, la hormona que indujo los valores más altos fue el ácido indol-3-butírico (AIB) a una concentración de 10,000 ppm (Rádix 10,000) (Cuadros 4, 5 y 6). No obstante, aunque las mayores longitudes de brotes aéreos se obtuvieron con esta hormona vegetal, las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P = 0.05$). La literatura menciona que el tipo de hormona juega un papel de suma importancia en el desarrollo de raíces (Bielenin, 2003), siendo la hormona AIB la más recomendable para especies de difícil enraizamiento. Dicha hormona produce un porcentaje alto de enraizamiento como el obtenido en *P. jaliscana* Pérez de la Rosa (mayor de 90 %) (Aparicio, Ramírez, & Cruz, 2006) y en *Taxus globosa* Schlecht. (75 %) (Muñoz-Gutiérrez, Vargas-Hernández, López-Upton, & Soto-Hernández, 2009).

Procedencia. Con excepción del número de raíces, las variables respuesta, tanto en las evaluaciones de mayo como en las de julio, no fueron afectadas significativamente por el lugar de procedencia del material vegetal (Cuadros 3, 4, 5 y 6). De acuerdo con la evaluación del mes de julio, el material procedente del cerro Tláloc generó mayor número de raíces que el del Desierto de los Leones (Cuadro 4). En algunas especies como *Acca sellowiana* (Berg) Burret, la capacidad de enraizamiento es altamente variable, depende de cada material genético y es independiente del sitio de procedencia (Cabrera, Rodríguez, Vignale, & Mara, 2010). En otras especies, el efecto de enraizamiento puede estar influido por el manejo que pudo tener el material vegetal durante el transporte del lugar de procedencia al sitio donde fue

times weather conditions do not favor root development and promote fungal attack. This factor can be considered the main drawback to achieve rooting of cuttings of this species. These results agree with those found by Navarrete and Vargas (2005) in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. These authors mention that, possibly, the response found may be associated with the physiological conditions of the plant material used and the environmental ones present when the experiment was established.

Overall analysis of the effects of the factors tested

Type of hormone. The response variables, in both the May and July assessments, except the length of aerial shoots in May, were significantly affected by the type of plant hormones tested (Table 3). In all response variables evaluated in both May and July, the hormone that induced the highest values was indol-butyric acid (IBA) at a concentration of 10,000 ppm (Radix 10,000) (Tables 4, 5 and 6). However, while the longest aerial shoot lengths were obtained with this plant hormone, the differences were not statistically significant ($P = 0.05$). The literature mentions that the type of hormone plays a major role in root development (Bielenin, 2003), IBA being the most recommended for difficult-to-root species. This hormone produces a high percentage of rooting as obtained in *P. jaliscana* Pérez de la Rosa (greater than 90 %) (Aparicio, Ramírez, & Cruz, 2006) and *Taxus globosa* Schlecht. (75 %) (Muñoz-Gutiérrez, Vargas-Hernández, López-Upton, & Soto-Hernández, 2009).

Origin. With the exception of the number of roots, the response variables, in both the May and July assessments, were not significantly affected by the plant material's place of origin (Tables 3, 4, 5 and 6). According to the July evaluation, the material from Mount Tlaloc generated more roots than that from Desierto de los Leones (Table 4). In some species such as *Acca sellowiana* (Berg) Burret, rooting capacity is highly variable, depends on each genetic material and is independent of the place of origin (Cabrera, Rodríguez, Vignale, & Mara, 2010). In other species, the rooting effect can be influenced by the handling that the plant material might undergo during transport from the place of origin to the place where the experiment was mounted, as in the case of *Sambucus canadensis* L. (Araya & Benavides, 1994).

Cutting age. The response variables, in both the May and July assessments, were significantly affected by the age of the cuttings (Table 3). In all response variables evaluated in both May and July, the cuttings that induced the highest values were those of the year 2009, that is, the youngest cuttings (Tables 4, 5 and 6). However, in aerial shoot length, although the greatest lengths were obtained with IBA, differences were not statistically significant according to the assessment made in May ($P = 0.05$) (Table 6). The degree of maturity of a plant is a factor that limits the capacity of vegetative propagation, especially for adventitious root formation (Pierik, Oosterkamp, & Ebbing, 1997; Poupard,

CUADRO 3. Análisis de varianza factorial para número de raíces, longitud de raíces y longitud de brotes aéreos de *Abies religiosa*.

Fuente	Número de raíces		Longitud de raíces		Longitud de brotes aéreos	
	mayo Pr > F	julio Pr > F	mayo Pr > F	julio Pr > F	mayo Pr > F	julio Pr > F
Modelo	0.0008	< .0001	0.0009	< .0001	0.0061	< .0001
Proce	0.6683	0.0239	0.2029	0.0695	0.3342	0.2622
Ee	0.0005	< .0001	0.0018	< .0001	0.0047	< .0001
Horm	0.0028	0.0004	0.0049	0.0011	0.1061	< .0001
Sint	0.3460	0.8716	0.4018	0.5499	0.9252	0.8573
Proce*Ee	0.2655	0.0633	0.1258	0.1397	0.2820	0.5805
Proce*Horm	0.5487	0.4190	0.2330	0.3932	0.5114	0.0794
Proce*Sint	0.5487	0.7465	0.3581	0.4104	0.0186	0.8317
Ee*Horm	0.0009	< .0001	0.0029	0.0003	0.0076	< .0001
Ee*Sint	0.5487	0.6861	0.4983	0.4638	0.8382	0.4346
Horm*Sint	0.6683	0.7465	0.5947	0.2789	0.3342	0.4423
Proce*Ee*Horm	0.7971	0.2256	0.3022	0.2331	0.8641	0.0203
Proce*Ee*Sint	0.3460	0.9356	0.2801	0.3210	0.3568	0.3756
Ee*Horm*Sint	0.2655	0.5716	0.4295	0.3430	0.1469	0.8470
Proce*Ee*Horm*Sint	0.7400	0.3553	0.4869	0.0576	0.2606	0.5321

Proce = Procedencia, Ee = Edad de la estaca, Horm = Hormona, Sint = Sintomatología.

TABLE 3. Factorial analysis of variance for number of roots, root length and aerial shoot length of *Abies religiosa*.

Source	Number of roots		Root length		Aerial shoot length	
	may Pr > F	julio Pr > F	may Pr > F	julio Pr > F	may Pr > F	julio Pr > F
Model	0.0008	< .0001	0.0009	< .0001	0.0061	< .0001
Ori	0.6683	0.0239	0.2029	0.0695	0.3342	0.2622
Ca	0.0005	< .0001	0.0018	< .0001	0.0047	< .0001
Horm	0.0028	0.0004	0.0049	0.0011	0.1061	< .0001
Symp	0.3460	0.8716	0.4018	0.5499	0.9252	0.8573
Ori*Ca	0.2655	0.0633	0.1258	0.1397	0.2820	0.5805
Ori*Horm	0.5487	0.4190	0.2330	0.3932	0.5114	0.0794
Ori*Symp	0.5487	0.7465	0.3581	0.4104	0.0186	0.8317
Ca*Horm	0.0009	< .0001	0.0029	0.0003	0.0076	< .0001
Ca*Symp	0.5487	0.6861	0.4983	0.4638	0.8382	0.4346
Horm*Symp	0.6683	0.7465	0.5947	0.2789	0.3342	0.4423
Ori*Ca*Horm	0.7971	0.2256	0.3022	0.2331	0.8641	0.0203
Ori*Ca*Symp	0.3460	0.9356	0.2801	0.3210	0.3568	0.3756
Ca*Horm*Symp	0.2655	0.5716	0.4295	0.3430	0.1469	0.8470
Ori*Ca*Horm*Symp	0.7400	0.3553	0.4869	0.0576	0.2606	0.5321

Ori = Origin, Ca = Cutting age, Horm = Hormone, Symp = Symptoms.

CUADRO 4. Comparación de medias del número de raíces de *Abies religiosa*.

Factor	Mayo		Julio	
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2
Procedencia	0.06750 a	0.05500 a	0.25500 a	0.11500 b
Edad de la estaca	0.01000 b	0.11250 a	0.02750 b	0.34250 a
Hormona	0.10500 a	0.01750 b	0.29500 a	0.07500 b
Síntoma de declinación	0.07500 a	0.04750 a	0.19000 a	0.18000 a

Procedencia 1 = Cerro Tláloc, Procedencia 2 = Parque Nacional Desierto de los Leones; Edad de la estaca 1 = 2008, Edad de la estaca 2 = 2009; Hormona 1 = Radix 10,000, Hormona 2 = Rooter QF; Síntoma de declinación 1 = Con síntomas, Síntoma de declinación 2 = Sin síntomas. Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

TABLE 4. Comparison of means for the number of roots of *Abies religiosa*.

Factor	May		July	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Origin	0.06750 a	0.05500 a	0.25500 a	0.11500 b
Cutting age	0.01000 b	0.11250 a	0.02750 b	0.34250 a
Hormone	0.10500 a	0.01750 b	0.29500 a	0.07500 b
Decline symptom	0.07500 a	0.04750 a	0.19000 a	0.18000 a

Origin 1 = Mount Tlaloc, Origin 2 = Desierto de los Leones National Park; Cutting age 1 = 2008, Cutting age 2 = 2009; Hormone 1 = Radix 10,000, Hormone 2 = Rooter QF; Decline symptom 1 = With symptoms, Decline symptom 2 = Without symptoms. Means with a different letter in the same row are statistically different according to Tukey's test at $P = 0.05$.

CUADRO 5. Comparación de medias de la longitud (cm) de raíces de *Abies religiosa*.

Factor	Mayo		Julio	
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2
Procedencia	0.07225 a	0.03275 a	0.8465 a	0.3748 a
Edad de la estaca	0.00400 b	0.10100 a	0.0485 b	1.1728 a
Hormona	0.09625 a	0.00875 b	1.0358 a	0.1855 b
Síntoma de declinación	0.06550 a	0.03950 a	0.5330 a	0.6883 a

Procedencia 1 = Cerro Tlaloc, Procedencia 2 = Parque Nacional Desierto de los Leones; Edad de la estaca 1 = 2008, Edad de la estaca 2 = 2009; Hormona 1 = Radix 10,000, Hormona 2 = Rooter QF; Síntoma de declinación 1 = Con síntomas, Síntoma de declinación 2 = Sin síntomas. Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P = 0.05$).

TABLE 5. Comparison of means for root length (cm) of *Abies religiosa*.

Factor	May		July	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Origin	0.07225 a	0.03275 a	0.8465 a	0.3748 a
Cutting age	0.00400 b	0.10100 a	0.0485 b	1.1728 a
Hormone	0.09625 a	0.00875 b	1.0358 a	0.1855 b
Decline Symptom	0.06550 a	0.03950 a	0.5330 a	0.6883 a

Origin 1 = Mount Tlaloc, Origin 2 = Desierto de los Leones National Park; Cutting age 1 = 2008, Cutting age 2 = 2009; Hormone 1 = Radix 10,000, Hormone 2 = Rooter QF; Decline symptom 1 = With symptoms, Decline symptom 2 = Without symptoms. Means with a different letter in the same row are significantly different according to Tukey's test at ($P = 0.05$).

CUADRO 6. Comparación de medias de la longitud (cm) de brotes aéreos de *Abies religiosa*.

Factor	Mayo		Julio	
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2
Procedencia	0.07475 a	0.11850 a	0.21050 a	0.29625 a
Edad de la estaca	0.03250 b	0.16075 a	0.04075 b	0.46600 a
Hormona	0.13325 a	0.06000 a	0.41400 a	0.09275 b
Síntoma de declinación	0.09875 a	0.09450 a	0.24650 a	0.26025 a

Procedencia 1 = Cerro Tlaloc, Procedencia 2 = Parque Nacional Desierto de los Leones; Edad de la estaca 1 = 2008, Edad de la estaca 2 = 2009; Hormona 1 = Radix 10,000, Hormona 2 = Rooter QF; Síntoma de declinación 1 = Con síntomas, Síntoma de declinación 2 = Sin síntomas. Media con letra diferente en una misma fila indica diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P = 0.05$.

TABLE 6. Comparison of means for aerial shoot length (cm) of *Abies religiosa*.

Factor	May		July	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Origin	0.07475 a	0.11850 a	0.21050 a	0.29625 a
Cutting age	0.03250 b	0.16075 a	0.04075 b	0.46600 a
Hormone	0.13325 a	0.06000 a	0.41400 a	0.09275 b
Decline symptom	0.09875 a	0.09450 a	0.24650 a	0.26025 a

Origin 1 = Mount Tlaloc, Origin 2 = Desierto de los Leones National Park; Cutting age 1 = 2008, Cutting age 2 = 2009; Hormone 1 = Radix 10,000, Hormone 2 = Rooter QF; Decline symptom 1 = With symptoms, Decline symptom 2 = Without symptoms. Means with a different letter in the same row are significantly different according to Tukey's test at $P = 0.05$.

montado el experimento, como en el caso de *Sambucus canadensis* L. (Araya & Benavides, 1994).

Edad de la estaca. Las variables respuesta, tanto en la evaluación de mayo como en la de julio, fueron afectadas significativamente por la edad de las estacas (Cuadro 3). En todas las variables de respuesta evaluadas tanto en mayo como en julio, las estacas que indujeron los valores más altos fueron las del año 2009; es decir, las estacas más jóvenes (Cuadros 4, 5 y 6). No obstante, en la longitud de brotes aéreos, aunque las mayores longitudes se obtuvieron con el AIB, las diferencias no fueron estadísticamente significativas según la evaluación realizada en el mes de mayo ($P = 0.05$) (Cuadro 6). El grado de madurez de una planta es un factor que limita la capacidad de propagación vegetativa, en especial para la formación de raíces adventicias (Pierik, Oosterkamp, & Ebbing, 1997; Poupard, Chauviere, & Monteuis, 1994), como lo encontrado en *T. globosa* donde se logró enraizar el 55.3 % de estacas jóvenes y sólo el 29.2 % de material maduro (Muñoz et al., 2009).

Comportamiento de las variables respuesta

Porcentaje de estacas enraizadas y edad de la estaca. De acuerdo con el análisis por tratamiento, las estacas procedentes del PNDL con síntomas de declinación, tratadas con AIB y año de generación 2009 tuvieron 20 % de enraizamiento. Las estacas procedentes del cerro Tlaloc con y sin síntomas de declinación, tratadas con AIB y año de generación 2009, tuvieron 18 % de enraizamiento (Cuadro 2). Lo anterior también se ha observado en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, donde el uso de árboles jóvenes como fuentes de estacas resulta en materiales de gran potencial de enraizamiento (Copes, 1977).

Número de raíces. El análisis de varianza del número de raíces muestra que existieron efectos significativos de las fuentes de variación y/o sus interacciones sobre esta variable de respuesta (Cuadro 3). En la evaluación de mayo, los factores que influyeron sobre el número de raíces fueron la edad de la estaca ($P \leq 0.0005$), la hormona vegetal ($P = 0.0028$) y la interacción de estos dos factores ($P = 0.0009$) (Cuadro 3). En el mes de julio, los efectos de las fuentes de variación fueron más marcados. En este caso, la procedencia del material vegetal tuvo influencia sobre el número de raíces ($P = 0.0239$), al igual

Chauviere, & Monteuis, 1994), as found in *Taxus globosa* where 55.3 % rooting was achieved in young cuttings and only 29.2 % in mature material (Muñoz et al., 2009).

Behavior of the response variables

Percentage of rooted cuttings and cutting age. According to the analysis by treatment, the cuttings from DLNP with decline symptoms, treated with IBA and generation year 2009, had 20 % rooting. Cuttings from Mount Tlaloc with and without decline symptoms, treated with IBA and generation year 2009, had 18 % rooting (Table 2). This has also been observed in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, where the use of young trees as cutting sources results in materials with great rooting potential (Copes, 1977).

Number of roots. The analysis of variance of the number of roots shows that there were significant effects of the sources of variation and/or their interactions on this response variable (Table 3). In the May assessment, the factors that influenced the number of roots were cutting age ($P \leq 0.0005$), the plant hormone ($P = 0.0028$) and the interaction of these two factors ($P = 0.0009$) (Table 3). In July, the effects of the sources of variation were more marked. In this case, the origin of the plant material had an influence on the number of roots ($P = 0.0239$), as well as cutting age ($P < 0.0001$), the type of plant hormone ($P = 0.0004$) and the age interaction of the cutting*hormone ($P \leq 0.0001$). Cuttings generated in 2009 produced the most roots. The age of the cuttings significantly affected the number of roots in both the May and July assessments. The affect of cutting age on the number of roots was altered by the type of hormone used (Table 4).

Root length. In this study, root length in May was affected by the same factors that influenced their number in the same month, presenting highly significant influences from cutting age, the type of hormone and the interaction of the two factors. In July, the length of the roots formed was influenced equally by cutting age, the type of hormone and the interaction of these two factors, with the first factor being the most significant ($P < 0.0001$). In *Nothofagus alessandrii* Espinosa cuttings, age was also associated with rooting, obtaining on average 5.8 cm of roots in cuttings no more than four years old, with the mother plant from which the cut-

que la edad de la estaca ($P < 0.0001$), el tipo de hormona vegetal ($P = 0.0004$) y la interacción edad de la estaca*hormona ($P \leq 0.0001$). Las estacas generadas en el 2009 produjeron la mayor cantidad de raíces. La edad de las estacas afectó significativamente el número de raíces tanto en la evaluación del mes de mayo como en julio. El efecto de la edad de la estaca sobre el número de raíces fue alterado por el tipo de hormona que se utilizó (Cuadro 4).

Longitud de raíces. En el presente trabajo, la longitud de raíces en el mes de mayo se vio afectada por los mismos factores que influyeron el número de éstas en el mismo mes, presentándose influencias altamente significativas en la edad de las estacas, el tipo de hormona y la interacción de ambos factores. En julio, la longitud de las raíces formadas estuvo influida de igual forma por la edad de la estaca, el tipo de hormona y la interacción de estos dos factores, siendo más significativo el primer factor ($P < 0.0001$). En estacas de *Nothofagus alessandrii* Espinosa, la edad también estuvo relacionada con el enraizamiento, al obtener en promedio 5.8 cm de raíces en estacas no mayores a cuatro años de edad, siendo un aspecto importante la planta madre de donde se obtuvieron las estacas para tal estudio (Santelices, 2005).

Longitud de brotes aéreos. La longitud de brotes aéreos medida en mayo, al igual que en los casos de número de raíces y longitud de raíces, sólo se vieron afectadas por la edad de la estaca y la interacción de este factor con el tipo de hormona (Cuadro 3). En el mes de julio, las estacas más jóvenes (año 2009), a las cuales se les aplicó Rádix 10,000, mostraron una longitud mayor de brotes aéreos (Cuadro 6). Por su parte, el lugar de procedencia y la presencia de síntomas de declinación en el follaje de la estaca no mostraron influencia alguna en el desarrollo de los brotes. Quintero, Rodríguez, Guízar, y Bonilla (2008) reportan que no existieron diferencias significativas en la longitud del brote principal en estacas de *Symphoricarpos microphyllus* H. B. K., al utilizar Rádix 10,000, Raizone Plus y un testigo.

CONCLUSIONES

La especie *A. religiosa* es de difícil enraizamiento. La época de recolecta de estacas influye en el enraizado de las mismas, siendo la temporada del mes de diciembre la que produjo enraizamiento. La procedencia no influyó en el enraizado de estacas de oyamel. La edad de la estaca tiene efectos en el enraizamiento de las mismas. En el presente estudio, las estacas de menor edad (2009) mostraron el mayor porcentaje de enraizamiento. El ácido indol-3-butírico promueve el enraizado de estacas de manera más eficaz, comparado con el ácido naftalenacético. La presencia de sintomatología característica en el follaje de árboles afectados por el síndrome de declinación forestal no tiene efecto en la capacidad de enraizamiento de estacas. Las estacas de *A. religiosa* recolectadas en la última estación de cre-

tings were obtained for this study being an important aspect (Santelices, 2005).

Aerial shoot length. The length of aerial shoots measured in May, as in the cases of number of roots and root length, was only affected by cutting age and the interaction of this factor with the type of hormone (Table 3). In July, the youngest cuttings (year 2009), to which Radix 10,000 was applied, showed greater aerial shoot length (Table 6). Place of origin and the presence of decline symptoms in the foliage of the cutting did not show any influence on shoot development. Quintero, Rodríguez, Guízar, and Bonilla (2008) reported that there were no significant differences in main shoot length in *Symphoricarpos microphyllus* H. B. K. cuttings, by using Radix 10,000, Raizone Plus and a control.

CONCLUSIONS

The species *A. religiosa* is difficult to root. Cutting collection time influences their rooting, with December being the time which produced rooting. Origin did not influence the rooting of sacred fir cuttings. The age of the cutting has effects on the rooting thereof. In this study, the youngest cuttings (2009) showed the highest rooting percentage. Indol-butyric acid promotes the rooting of cuttings more efficiently than naphthaleneacetic acid. The presence of characteristic symptoms in the foliage of trees affected by forest decline syndrome has no effect on the rooting capacity of cuttings. *A. religiosa* cuttings collected in the last growing season and treated with indol-butyric acid can show up to 20 % rooting.

End of English Version

cimiento y tratadas con indol-3-butírico pueden mostrar hasta 20 % de enraizamiento.

REFERENCIAS

- Alvarado, R. D., De Bauer, L. I., & Galindo, A. J. (1993). Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park South of Mexico City. *Environmental Pollution*, 80(2), 115–121.
- Alvarado, R. D., & Hernández-Tejeda, T. (2002). Decline of sacred-fir in the Desierto de Los Leones National Park. In M. E. Fenn, L. I. De Bauer, & T. Hernández-Tejeda (Eds.), *Urban air pollution and forests. Resources at risk in the Mexico City air basin* (pp. 243–260). New York, USA: Springer.
- Aparicio, R. A., Ramírez, G. E. O., & Cruz, J. H. (2006). Multiplicación clonal de *Pinus jaliscana* Pérez de la Rosa a través del establecimiento y manejo de setos para la producción de estacas. *Foresta Veracruzana*, 8(1), 17–22. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/497/49780104.pdf>
- Araya, J., & Benavides, J. (1994). Efecto de la procedencia, posición en la rama y tipo de siembra en el establecimiento de estacas de Sauco amarillo (*Sambucus canadensis*) en Puriscal, Costa

- Rica. In *Árboles y arbustos forrajeros en América Central* (Vol. II, pp. 423–429). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Bielenin, M. (2003). Rooting and gas exchange of conifer cuttings treated with indolebutyric acid. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 11, 99–105. Obtenido de http://www.insad.pl/files/journal_pdf/journal_2003/Full_2003_11.pdf
- Cabrera, D., Rodríguez, P., Vignale, B., & Mara, V. (2010). *Avances en la propagación por enraizamiento de estacas semi-leñosas de guayabo del país (Acca sellowiana (Berg) Burret)*. 5º Encuentro Nacional sobre frutos nativos. Uruguay.
- Copes, D. L. (1977). Influence of rooting media on root structure and rooting percentage of Douglas-fir cuttings. *Silvae Genetica*, 26(2-3), 102–106. Obtenido de http://bfafh.de/inst2/sg-pdf/26_2-3_102.pdf
- González, R. E. M. (2005). Caracterización espacial de la declinación forestal del oyamel *Abies religiosa* en el Desierto de los Leones. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México.
- Hernández-Tejeda, T., & De Bauer, L. I. (1984). Evolución del daño por gases oxidantes en *Pinus hartwegii* y *P. montezumae* var. *lindleyi* en el Ajusco, D. F. *Agrociencia* 56, 183–194.
- Hernández-Tejeda, T., & De Bauer, L. I. (1989). *La supervivencia vegetal ante la contaminación atmosférica*. México: Centro de Fitopatología, Colegio de Postgraduados.
- Muñoz-Gutiérrez, L., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J., & Soto-Hernández, M. (2009). Effect of cutting age and substrate temperature on rooting of *Taxus globosa*. *New Forests*, 38(2), 187–196. doi: 10.1007/s11056-009-9139-6
- Navarrete, L. M., & Vargas, H. J. J. (2005). Propagación asexual de clones de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH utilizando rádix en diferentes concentraciones. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(002), 111–116. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/629/62911206.pdf>
- Pierik, R. L. M., Oosterkamp, J., & Ebbing, M. A. C. (1997). Factors controlling adventitious root formation of explants from juvenile and adult *Quercus robur* “Fastigiata”. *Scientia Horticulturae*, 71(1-2), 87–92. doi: 10.1016/S0304-4238(97)00067-8
- Poupard, C., Chauviere, M., & Monteuis, O. (1994). Rooting *Acacia mangium* cuttings: Effects of age, within shoot position and auxin treatment. *Silvae Genetica*, 43, 226–231. Obtenido de http://sauerlaender-verlag.com/fileadmin/content/dokument/archiv/silvaegenetica/43_1994/43-4-226.pdf
- Quintero, S. A. I., Rodríguez, T. D. A., Guizar, N. E., & Bonilla, B. R. (2008). Propagación vegetativa de la vara de Perilla (*Symphoricarpos mycophyllus* H. B. K.). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 14(001), 21–26. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=62914104>
- Santelices, R. (2005). Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. *Bosque*, 26(3), 133–136. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002005000300015&script=sci_arttext
- Watmough, S. A., & Hutchinson, T. C. (1999). Change in the dendrochemistry of sacred fir close to Mexico City over the past 100 years. *Environmental Pollution*, 104, 79–88. Obtenido de <http://www.aseanbiodiversity.info/Abstract/51002214.pdf>